LA CIENCIA DE LOS ANTIGUOS EN AL-ANDALUS

Julio Samsó

COLECCIONES MAPFRE 1492

Creative Commons

Esta obra se encuentra disponible en Acceso Abierto
para copiarse, distribuirse y transmitirse con propósitos no comerciales. Todas las formas de reproducción, adaptación y/o traducción por medios mecánicos o electrónicos deberán indicar como fuente de origen a la obra y su(s) autor(es).

Colección Al-Andalus

LAS CIENCIAS DE LOS ANTIGUOS EN AL-ANDALUS

Director coordinador: José Andrés-Gallego
Diseño de cubierta: José Crespo

© 1992, Julio Samsó
© 1992, Fundación MAPFRE América
© 1992, Editorial MAPFRE, S. A.
Paseo de Recoletos, 25 - 28004 Madrid
ISBN: 84-7100-301-5
Depósito legal: M. 25829-1992
Impreso en los talleres de Mateu Cromo Artes Gráficas, S. A.
Carretera de Pinto a Fuenlabrada, s/n., km 20,800 (Madrid)
Impreso en España-Printed in Spain

JULIO SAMSÓ

LAS CIENCIAS DE LOS ANTIGUOS EN AL-ANDALUS

EDITORIAL
MAPFRE

A todos los miembros
pasados, presentes y futuros
de la escuela barcelonesa
de historiadores de la ciencia medieval

INDICE

PROLOGO 15

CAPITULO 1: CIENCIA ARABE Y CIENCIA ISIDORIANA (711-821)

1.1 Generalidades. 19

1.2 El primer jardín botánico en al-Andalus. 20

1.3 Astrología y leyendas sobre la conquista 22

1.4 El "Libro de las Cruzes", el texto astrológico andalusí más antiguo conocido. 27

1.5 Un excursus sobre cultura, medicina y agronomía latinas en al-Andalus durante los siglos IX-XI. 37

1.6 A modo de conclusión. 42

CAPITULO 2: LA ORIENTALIZACION DE LA CIENCIA ANDALUSI (821-1031)

2.1 Generalidades. 45

2.2 Los astrólogos de ᶜAbd al-Raḥmān II (821-852). 49

2.3 Una nota sobre dos novedades tecnológicas aparecidas durante los emiratos de ᶜAbd al-Raḥmān II (821-852) y Muḥammad (852-886). 56

2.4 El desarrollo del "mīqāt". 60
2.4.1 El problema de la orientación del "miḥrāb". 60
2.4.2 La determinación de la hora. 66
2.4.3 El Calendario de Córdoba. 71

2.5 Astronomía y astrología a partir de c. 850. 75
2.5.1 Generalidades. 75
2.5.2 La madurez de la astronomía andalusí: la escuela de Maslama. 80
2.5.2.1 Generalidades. 80
2.5.2.2 Maslama, las tablas de al-Jwārizmī y la introducción de la astronomía ptolemaica. 84
2.5.2.3 Los tratados sobre el astrolabio. 93
2.5.2.4 Otros instrumentos astronómicos: cuadrantes solares y ecuatorios. 98

2.6 Las ciencias naturales. 110
2.6.1 La aparición de una escuela farmacológica andalusí. 110
2.6.2 La medicina: Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī y ᶜArīb b. Saᶜīd. 116

CAPITULO 3: LAS CIENCIAS EXACTAS EN EL SIGLO DE ORO (1031-1086).

3.1 Generalidades. 125

3.2 El desarrollo de la matemática: aritmética, geometría y trigonometría esférica. 132

3.3 La astronomía. 144
3.3.1 Generalidades. 144
3.3.2 Las tablas astronómicas. 147
3.3.2.1 Las Tablas de Toledo. 147

3.3.2.2 Las Tablas de Jaén. 152
3.3.2.3 El "Almanaque" de Azarquiel. 166
3.3.3 Instrumental astronómico. 171
3.3.3.1 Generalidades. 171
3.3.3.2 Esfera armilar. 175
3.3.3.3 Instrumentos universales. 180
3.3.3.3.1 Generalidades. 180
3.3.3.3.2 Lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf. 185
3.3.3.3.3 Las dos variantes de la azafea de Azarquiel:"šakkāziyya" y "zarqāliyya". 187
3.3.3.3.4 En torno a la cronología relativa de los tres instrumentos universales. 196
3.3.3.4 Ecuatorio. 199
3.3.4 Investigaciones solares. 207
3.3.5 El modelo lunar. 218
3.3.6 Los modelos matemáticos de trepidación. 219
3.3.6.1 Generalidades. 219
3.3.6.2 El "Liber de motu octaue spere" 222
3.3.6.3 El tratado de Azarquiel sobre el movimiento de las estrellas fijas. 227
3.3.6.3.1 Generalidades. 227
3.3.6.3.2 El primer modelo geométrico de Azarquiel. 228
3.3.6.3.3 El segundo modelo de Azarquiel. 230
3.3.6.3.4 El tercer modelo de Azarquiel. 230
3.3.6.3.5 Valoración de los modelos de Azarquiel. 236
3.3.6.3.6 Resumen y conclusiones generales. 239
3.3.7 Astronomía y Física: la determinación de la altura de la atmósfera. 240

CAPITULO 4: LAS CIENCIAS APLICADAS EN EL SIGLO DE ORO (1031-1086).

4.1 Generalidades. 245

4.2 La ingeniería mecánica: el tratado de autómatas de Ibn Jalaf al-Murādī. 249
4.2.1 Generalidades. 249
4.2.2 Una digresión sobre el manuscrito. 252
4.2.3 El contenido del "Kitāb al-asrār". 254

4.3 Alquimia y Magia en la obra del seudo-Maslama. 257
4.3.1 Generalidades: autor y problemas de cronología. 257
4.3.2 El contenido de la "Rutba". 259
4.3.3 La magia talismánica en la "Gāya". 261

4.4 Botánica, Farmacología y Medicina. 267

4.5 La Agronomía. 277
4.5.1 Generalidades. 277
4.5.2 Los autores. 280
4.5.2.1 Ibn Wāfid y al-Nahrāwī/ Zahrāwī. 281
4.5.2.2 Abū-l-Jayr al-Šaŷŷār al-Išbīlī. 282
4.5.2.3 Ibn Baṣṣāl. 283
4.5.2.4 Ibn Ḫaŷŷāŷ. 284
4.5.2.5 Al-Ṭignarī. 285
4.5.3 Confluencia de tradiciones. 287
4.5.4 El desarrollo de una teoría agronómica. 289
4.5.4.1 Generalidades. 289
4.5.4.2 La tierra. 291
4.5.4.3 El agua y las técnicas hidráulicas. 293
4.5.4.4 El aire y el laboreo de la tierra. 299
4.5.4.5 Otros procedimientos para calentar la tierra: el abono. 300
4.5.4.6 Agronomía y superstición. 302

4.6 Conclusiones. 304

CAPITULO 5: EL SIGLO DE LOS FILOSOFOS (1086-1232).

5.1 Generalidades. 307

5.2 La astronomía matemática y la herencia de Azarquiel. 313

5.2.1 Instrumental astronómico: tratados sobre el astrolabio y el ecuatorio. 313
5.2.2 Ŷābir b. Aflaḥ y la invención del "torquetum". 317
5.2.3 Tablas astronómicas: Ibn al-Kammād e Ibn al-Hā'im. 320
5.2.4 Las críticas a la astronomía ptolemaica: el *Iṣlāḥ al-Maŷisṭī* de Ŷābir b. Aflaḥ. 326

5.3 Filosofía, Física y Astronomía. 330
5.3.1 Generalidades: los conocimientos astronómicos de los protagonistas. 330
5.3.2 Dos aproximaciones a la problemática astronómica: astronomía matemática y astronomía física. 333
5.3.3 Los primeros conatos de formular un sistema "astrofísico": Ibn Bāŷŷa, Ibn Ṭufayl, Ibn Rušd. 337
5.3.4 El sistema astronómico de al-Biṭrūŷī. 342
5.3.4.1 Generalidades. 342
5.3.4.2 La dinámica neoplatónica en la obra de al-Biṭrūŷī. 344
5.3.4.3 Los modelos de al-Biṭrūŷī. 349
5.3.4.3.1 Las estrellas fijas. 349
5.3.4.3.2 Los modelos planetarios. 352
5.3.4.4 Conclusiones. 355

5.4 La Física de Ibn Bāŷŷa (Avempace). 356

5.5 Las ciencias aplicadas. 360
5.5.1 Generalidades. 360
5.5.2 Botánica y Farmacología. 361
5.5.3 Medicina. 369
5.5.3.1 Generalidades: la Oftalmología. 369
5.5.3.2 La medicina práctica de ᶜAbd al-Malik b. Zuhr. 371
5.5.3.3 Medicina y filosofía: Ibn Rušd. 375
5.5.3.4 La medicina andalusí en el exilio: Maimónides. 378
5.5.4 La agronomía: Ibn al-ᶜAwwām. 381

5.6 Conclusiones. 384

CAPITULO 6: LA LARGA AGONIA DE LA CIENCIA EN LA GRANADA NAZARI (1232-1492).

6.1 Generalidades. 387

6.2 Nuevas instituciones científicas: la *madrasa* y el *māristān*. 394
6.2.1 Generalidades. 394
6.2.2 La *madrasa* granadina. 394
6.2.3 El *māristān* (hospital) de Granada. 399

6.3 Ciencias y Tecnología en la Granada Nazarí. 401
6.3.1 Generalidades. 401
6.3.2 Las ciencias exactas. 402
6.3.2.1 La matemática. 402
6.3.2.2 La astronomía. 409
6.3.2.2.1 Horóscopos. 409
6.3.2.2.2 *Mīqāt* e instrumentos astronómicos. 412
6.3.2.2.3 Tablas astronómicas: Ibn al-Raqqām. 421
6.3.3 Las ciencias aplicadas y la medicina. 427
6.3.3.1 Agronomía y Farmacología. 427
6.3.3.2 Hipología, Hipiatría y Arte Militar. 430
6.3.3.3 La medicina. 433
6.3.4 La tecnología: norias y relojes. 442

6.4 Conclusiones. 445

Indice de siglas y abreviaturas 447

Indice onomástico y de materias 451

Indice de parámetros y valores numéricos 499

PROLOGO

Este libro se empezó a escribir en 1931, el año en que fue publicado el *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval* de Josep Mª Millàs i Vallicrosa. Lo han escrito, además del que suscribe y del Dr. Millàs, una serie de personajes que citaré por orden de aparición en la escena de mi vida: Juan Vernet, Leonor Martínez, David Romano, Asunción Catalá, Manuel Grau, Eduardo Millás, Ana Labarta, Francisco Castelló, María Victoria Villuendas, Mercè Viladrich, Ramón Martí, José Martínez Gázquez, Roser Puig, Joan Carandell, Mercè Comes, Emilia Calvo, Miquel Forcada, Margarita Castells, Dolors Cinca y Josep Casulleras. Todos ellos han contribuido a su redacción en una medida de la que no son, probablemente, conscientes. A estos nombres debo añadir uno más: el de una persona que, sin ser un historiador de la ciencia ni tener obligación alguna con el abajo firmante ni con sus compañeros, nos ha ayudado enormemente a todos. Me refiero a Honorino Mielgo sin el cual no habríamos hecho ni la mitad de lo que hemos conseguido llevar a cabo en los últimos ocho años. No quisiera terminar este párrafo, no obstante, sin hacer una mención especial del personaje que encabeza la lista anterior, autor de la única síntesis existente acerca del tema de este libro[1], y un hombre que ha desempeñado un papel protagonista en mi vida y en mi trabajo: Juan Vernet que, en 1963, me tendió una magnífica trampa con la que me hizo ver la conveniencia de dedicarme a la historia de la ciencia árabe, algo que yo, expresamente, había rechazado durante mis estu-

[1] J. Vernet, *La ciencia en al-Andalus*, Sevilla, 1986.

dios. El es, sin duda, el que más ha contribuido a la redacción de este libro.

Este libro es, pues, un libro de escuela. Pero también, en muchas de sus partes, es una obra muy personal y refleja ideas propias acumuladas a lo largo de los últimos veinticinco años lo cual, evidentemente, implica un riesgo de error mucho mayor. Como cualquier síntesis, está escrita para ser demolida y mi mayor deseo sería que, en el plazo de cinco años, estuviera pasada de moda: sería un síntoma claro de que la escuela barcelonesa de historiadores de la ciencia medieval goza de buena salud.

El título, *Ciencias de los Antiguos en al-Andalus* requiere cierta justificación. Los árabes suelen dividir las ciencias en ciencias árabo-islámicas (relativas a la religión o a la tradición lingüístico-literaria propia) y «ciencias de los antiguos» (*ʿulūm al-awā'il*) heredadas de culturas extranjeras -- indo-irania y, sobre todo, griega -- lo que incluye el conjunto de las ciencias exactas y físico-naturales, medicina, cierto tipo de ingeniería mecánica (*ʿilm al-ḥiyal*) además, claro está, de la filosofía. Este libro trata de la historia de todas estas disciplinas, salvo de la de la filosofía y éste, creo, es el único aspecto en el que título y contenido no se corresponden: diré, en mi defensa, que incluso la filosofía está, en cierto modo presente, en la medida en la que configuró la escasa física que se produjo en al-Andalus y dio lugar al nacimiento, un tanto frustrado, de un sistema cosmológico o «astrofísico» que gozó de un cierto éxito en Europa durante un siglo al menos (cf. § 5.3). Por otra parte el que suscribe es, desde hace muchos años, historiador de la astronomía y esto creo que se nota en el libro. El nivel de profundidad con el que puedo tratar las cuestiones de índole astronómica no es el mismo con el que me ocupo de las otras disciplinas, sobre todo de la historia de la medicina, que es una materia con autonomía propia. Los especialistas en ella perdonarán los deslices en los que haya podido incurrir: sólo he intentado presentar un panorama lo más completo posible.

La escena geográfica e histórica de este libro es al-Andalus, o sea aquella parte de la Península Ibérica que, entre 711 y 1492 estuvo bajo el dominio musulmán y utilizó el árabe como lengua de cultura. Se trata de una escena geográficamente muy amplia, en un principio, que luego se va encogiendo progresivamente, a medida que las conquistas cristianas van avanzando hacia el sur. Creo haber hablado siempre de al-Andalus y de ciencia andalusí, no de España Musulmana ni de ciencia hispano-árabe: al-Andalus y andalusí son los

términos que empleaban los protagonistas de la historia y no hay por qué hispanizar lo que no se sintió hispánico. Del mismo modo prefiero hablar de conquista cristiana y no de reconquista.

La lengua ha sido definitoria a la hora de establecer fronteras entre lo que debía tratar y lo que no: Maimónides (cf. § 5.5.3.4) escribió su tratado astronómico *Sobre la santificación de la luna nueva* en hebreo y su obra médica en árabe y, por ello, omito el primero y me ocupo de la segunda. Esto, evidentemente, no me ha impedido aceptar un texto latino o castellano cuando el texto original árabe de determinada obra científica se ha perdido o resulta, por el momento, inaccesible. Me temo que no he sido muy puntilloso en otros aspectos y he tratado la obra de los científicos andalusíes tanto si se escribió en al-Andalus como fuera del país: lo importante, para mí, era la tradición científica en la que se insertaba el autor.

En este libro he dado poca importancia, relativamente, a las biografías de los personajes que aparecen en él. Me interesan mucho más los grandes marcos históricos y el desarrollo de las corrientes culturales --y en este terreno los datos biográficos son, a veces significativos y los he aprovechado -- y, sobre todo, la evolución de las ideas científicas. Me temo, también, que me ha salido una historia de la ciencia bastante *internalista*: en general la historia de las ciencias exactas y físico-naturales no permite, en la Edad Media, otro tipo de tratamiento por falta de documentación. En al-Andalus los científicos, utilizando este término en nuestro sentido actual, no tuvieron una importancia social y numérica comparable a la de los juristas, por ejemplo. Lo sabe muy bien quien se haya asomado alguna vez a un diccionario biográfico árabe.

Además de aquellas personas que han colaborado conmigo, de una forma u otra, en la elaboración de este libro y que he citado al principio, debo agradecer su ayuda a otros muchos, empezando por aquellos eruditos que adoptaron, hace ya muchos años, la buena costumbre de enviarme todas sus publicaciones. La lista sería demasiado larga para reproducirla aquí pero quisiera llamar la atención sobre algunos nombres. En primer lugar los de Edward y Mary Helen Kennedy, fundadores de la «escuela de Beirut» de historia de la astronomía árabe. De Edward Kennedy (conocido como al-Kindī o Abū Mijā'īl) he aprendido muchísimo, en especial en lo relativo a los métodos para el estudio de tablas numéricas, tanto leyendo sus trabajos como durante los tres meses en los que tuve la fortuna de que

ocupara mi despacho en la Universidad de Barcelona. A Mary Helen le debo muchísimas cosas no científicas pero que han repercutido inmediatamente en mi vida profesional y científica. Quisiera mencionar también a David King y a John North que siempre se han mostrado dispuestos a ayudarme a mí y a mis compañeros. La generosidad de David King (que, a veces, firma Abumax cuando se siente fotógrafo) a la hora de regalarme microfilms imposibles de conseguir ha sido siempre enorme.

No puedo terminar este prólogo sin mencionar el nombre de la persona más querida de todo el arabismo español. Me refiero a José Pérez Lázaro, secretario del Instituto de Cooperación con el Mundo Arabe, que ha estado siempre a disposición de sus colegas y es una persona irreemplazable para todos nosotros. Lo mismo puedo decir de Manuela Marín, situada en otro lugar estratégico, el Departamento de Estudios Arabes del C.S.I.C. en Madrid. En el mundo en el que vivimos, en el que la bibliografía prolifera con tremenda rapidez, tener amigos como los que he citado aquí resulta indispensable para escribir un libro de esta índole.

San Cugat del Vallés, 16 de Febrero de 1991.

Post-data: por razones ajenas a mi voluntad y a la de la editorial, la publicación de este libro se ha demorado más de un año. Esto ha tenido ventajas ya que me ha permitido introducir correcciones en errores advertidos por mí y por mis amigos y colaboradores. Por otra parte durante este año han aparecido nuevas publicaciones, algunas de ellas importantes, que no he tenido tiempo de asimilar aunque sí he podido introducir la correspondiente referencia bibliográfica. Repito mi agradecimiento a Honorino Mielgo, Emilia Calvo y Josep Casulleras y lo expreso, por vez primera, a Angel Mestres. El primero ha creado el programa de ordenador que me ha permitido realizar los índices. Los otros tres me han ayudado en la confección de los mismos.

17 de Julio de 1992.

CAPITULO 1

CIENCIA ARABE Y CULTURA ISIDORIANA (711-821)

1.1 GENERALIDADES.

Los invasores musulmanes de la Península Ibérica no eran hombres de ciencia ni gentes cultas. Por una parte, las primeras oleadas de la invasión estaban constituidas prioritariamente por bereberes de arabización muy reciente[1] y, por otra, los historiadores andalusíes (Ibn al-Qūṭiyya sobre todo) nos presentan a ciertos personajes distinguidos, entre los árabes que penetraron en la Península en el siglo VIII, como individuos de un nivel cultural muy bajo. El cadí Ṣāᶜid de Toledo (1029-1070), autor de un *Kitāb ṭabaqāt al-umam* («Libro de las categorías de las naciones»), una auténtica historia universal de la ciencia que nos servirá frecuentemente de guía en estas páginas, confirma plenamente esta hipótesis pues, si bien afirma que al-Andalus no supo lo que era la ciencia hasta la invasión musulmana del 711, añade que, incluso después de esta fecha, sólo se cultivaron los estudios de derecho islámico y lengua árabe hasta que el poder pasó a manos de los Omeyas con ᶜAbd al-Raḥmān I en el

[1] Los trabajos de P. Guichard (cf. fundamentalmente su *Al-Andalus. Estructura antropológica de una sociedad islámica en Occidente*, Barcelona, 1976) conceden una mayor importancia numérica al elemento árabe que penetró en España con los primeros invasores que lo que encontramos habitualmente en la historiografía tradicional española, pero esto no implica un cambio esencial en los datos del problema.

756[2]. Esto parece implicar que, con el inicio del período omeya, habrían empezado los andalusíes a interesarse por las «ciencias de los antiguos», las heredadas de las tradiciones clásica, india y persa, y no basadas exclusivamente en la cultura autóctona. Pese a lo que, según parece, podemos deducir del texto de Ṣāᶜid, lo cierto es que este autor empieza a ocuparse seriamente de ciencia en al-Andalus a partir del emirato de Muḥammad (852-886), el hijo de ᶜAbd al-Raḥmān II (821-852), personaje cuya política cultural transformará, como veremos, la situación del país. Pretendo aquí bucear en el período más oscuro, fundamentalmente el comprendido entre el 711 y el 821, aquel que los historiadores de la «cultura» andalusí suelen dejar de lado, por más que esta situación de indigencia parece estar a punto de cambiar gracias a los estudios que se están llevando a cabo actualmente sobre los diccionarios biográficos andalusíes que pueden aclarar bastante la vida intelectual de esta época[3].

1.2 EL PRIMER JARDIN BOTANICO EN AL-ANDALUS.

Esta caracterización extrema admite, obviamente, excepciones. Una de las más notables corresponde a la figura del primer Omeya andalusí, ᶜAbd al-Raḥmān I (756-788), personaje dominado por la nostalgia de su Siria natal, que construyó al noroeste de Córdoba un palacio rodeado por espléndidos jardines, denominando Ruzafa a esta residencia palaciega en recuerdo del palacio de la *Ruṣāfa* construido en Siria por su abuelo Hišām. En la Ruzafa cordobesa se llevaron a cabo ensayos de aclimatación de plantas orientales, según nos indica Ibn Saᶜīd en el *Mugrib*:

[2] Ṣāᶜid Al-Andalusī, *Kitāb Ṭabakāt al-Umam (Livre des Catégories des Nations)*. Trad. francesa de R. Blachère, Paris, 1935, pp. 120-122; ed. de Ḥ. Būᶜalwān (Beirut, 1985), 155-158. En el mismo sentido se pronuncia Ibn Tumlūs de Alcira (m. 1223), quien afirma que los musulmanes que habitaron al-Andalus en los primeros tiempos carecían de instrucción y sólo conocían la ciencia que les era necesaria para resolver problemas jurídicos y que les había sido transmitida por los doctores de la segunda y tercera generación. Cf. M. Asín Palacios, «La logique d'Ibn Tumlūs d'Alcira», *Obras Escogidas* II-III (Madrid, 1948), 157-158.

[3] Se han publicado, hasta el momento cuatro volúmenes de *Estudios Onomástico-Biográficos de al-Andalus* editados por M. Marín el I (Madrid, 1988), por M.L. Avila el II y el III (Granada, 1989 y 1990), y por L. Molina el IV (Granada, 1990). Véanse también multitud de artículos aparecidos en *Al-Qanṭara*.

> Allí tuvo un hermoso palacio y situó amplios jardines a los que hizo traer plantas exóticas y magníficos árboles procedentes de las regiones más diversas. En ellos plantó los huesos de frutas seleccionadas y las semillas extrañas que le habían traido Yazīd y Safr, sus enviados en Siria, hasta que crecieron, en un breve espacio de tiempo, gracias a los serios esfuerzos y cuidados adecuados, árboles tocados con el turbante [de sus hojas], que dieron curiosos frutos y se diseminaron, en breve, por toda la tierra de al-Andalus.

El detalle de uno de estos ensayos de aclimatación nos lo ofrece, a continuación, el propio Ibn Saᶜīd, al referirse a una variedad de granada denominada *safarī*:

> La granada safarí que se difundió por todos los confines de al-Andalus, de tal modo que [los habitantes de este país] la preferían a todas las variedades restantes, tenía su origen en esta Ruzafa. Ibn Ḥayyān expone cuanto a ella se refiere: esta variedad se distingue por su calidad, siendo la mejor de todas las especies de granada por su sabor dulce, su tacto suave, su carácter especialmente jugoso y la belleza de su forma. La trajo a al-Andalus el embajador enviado a Siria [por ᶜAbd al-Raḥmān I] con el encargo de entrar en contacto con su hermana, el cual había traido los mejores ejemplares de granadas de la Ruzafa [siria, cuya fundación] se atribuye [al califa] Hišām. ᶜAbd al-Raḥmān la mostró entonces a los hombres de su privanza, poniendo de relieve su belleza. Entre los presentes se encontraba Safr b. ᶜUbayd [Allāh (?)] al-Kilā'ī, perteneciente al ejército (*ŷund*) de Jordania [...]. El monarca le entregó una parte de estas granadas y él quedó maravillado ante su hermosura y quiso hacer una experiencia con ellas. Las llevó, entonces, a una alquería situada en la cora de Reyo (Málaga). Allí manipuló sus semillas y se las arregló para plantarlas, alimentarlas [con agua y abono] y transplantarlas hasta que surgió un árbol que

> dio fruto y [este, a su vez,] maduró. [Safr, entonces,] arrancó [los frutos] de cuajo, quedando asombrado ante su belleza, y se dirigió con ellos inmediatamente a presencia de ᶜAbd al-Raḥmān, quien pudo comprobar que eran semejantes, en todo, [a las granadas de] la Ruzafa [siria]. El emir le preguntó cómo las había conseguido y Safr le informó del procedimiento que había utilizado para obtenerlas. [El monarca, entonces,] admiró su descubrimiento, apreció sus esfuerzos, le dio las gracias por la tarea que había llevado a cabo, y recompensó con generosidad su regalo. [Acto seguido] se plantó [aquella granada] en la almunia de la Ruzafa y en otros jardines de su propiedad. Aquella especie [de granada] se difundió, el pueblo diseminó las plantaciones de esta índole y atribuyó su origen [a Safr] ya que, desde entonces y hasta ahora, es conocida como granada *safarī*.[4]

El texto que acabo de citar *in extenso* tiene el obvio interés de constituir la referencia más antigua conocida a la existencia en al-Andalus de jardines botánicos en los que se realizaban ensayos de aclimatación de plantas exóticas, instituciones cuya existencia esta bien documentada, como veremos, en el siglo XI, y constituye, por otra parte, una especie de partida de nacimiento de la agronomía andalusí[5].

1.3 ASTROLOGIA Y LEYENDAS SOBRE LA CONQUISTA.

El hecho que acabo de citar tiene un carácter excepcional y podemos afirmarnos en esta idea si consideramos el caso de la astrología. Una revisión sistemática de la documentación histórica conocida acerca de los personajes con fama de adivinos, fuera cual

[4] Cf. el texto árabe en Al-Maqqarī, *Nafḥ al-ṭīb*. Ed. I. ᶜAbbās vol. I (Beirut, 1968), 466-468.

[5] J. Samsó, «Ibn Hišām al-Lajmī y el primer jardín botánico en al-Andalus», *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos* 21 (1981-82), 135-141.

fuere la técnica de adivinación (astrológica o no) que utilizaron[6], ha dado como resultado el que podamos afirmar que el primer astrólogo documentado es ᶜAbd al-Wāḥid b. Isḥāq al-Ḍabbī (fl. c. 800), del que tendremos ocasión de ocuparnos ampliamente. Pese a ello, los historiadores de la conquista y del emirato multiplican las referencias a predicciones y profecías atribuidas, en unos casos, a personajes cristianos y, en otras, a musulmanes[7]: un anciano (*šayj*) cristiano predice a Ṭāriq b. Ziyād que árabes y bereberes musulmanes conquistarán al-Andalus; una vieja, también cristiana, afirma que el conquistador de al-Andalus tendrá -- como Ṭāriq -- un lunar en el hombro izquierdo; un prisionero cristiano, tras inspeccionar las entrañas de un pájaro muerto, informa a Mūsà b. Nuṣayr que no morirá en al-Andalus sino en la Península Arábiga. Este tipo de referencias, en las que habitualmente no se especifica la técnica adivinatoria utilizada, se mezclan con otras que implican la creencia, por parte de los historiadores árabes, en prácticas de magia talismánica que se habrían llevado a cabo en la España pre-musulmana: el famoso «ídolo de Cádiz» (columnas de Hércules) es un talismán construido, bajo condiciones astrológicas favorables, con el fin de proteger la península de una invasión norteafricana y la misma función habrían tenido las famosas «imágenes» de los invasores que Rodrigo encuentra en «la casa cerrada de Toledo». Todo lo anterior hace pensar que, cuando los musulmanes invaden España, se encuentran con un país en el que sobrevive una tradición mágico-astrológica de origen clásico que, posiblemente, asimilan y superponen a la suya propia.

En efecto, las fuentes que han atribuido prácticas adivinatorias a cristianos, relacionan también este mismo tipo de prácticas con dos personajes particularmente importantes. Se trata de dos individuos pertenecientes a la categoría de los *tābiᶜūn* (musulmanes de segunda o tercera generación, discípulos de uno de los compañeros del Profe-

[6] M. Marín, «ᶜIlm al-nuğūm e ᶜIlm al-ḥidṯān en al-Andalus», *Actas del XII Congreso de la U.E.A.I.*, Madrid, 1986, 509-535, quien señala (p. 514) que los presagios y vaticinios relativos a la conquista y a los primeros tiempos del Islam en al-Andalus tienen, a veces, relación con procedimientos astrológicos pero, en su mayoría, pertenecen a un género de difícil definición y que en los textos árabes es denominado *ᶜilm al-ḥidṯān* (¿"ciencia de los acontecimientos [futuros]"?). Sobre estas cuestiones cf. también J. Samsó, «Astrology, Pre-Islamic Spain and the conquest of al-Andalus», *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos* 23 (1985-86), 39-54.

[7] Sobre las técnicas de predicción de tradición árabe cf. T. Fahd, *La divination arabe*, Leiden, 1966.

ta). El primero de ellos es Ḥanaš al-Ṣanᶜānī, al que la tradición posterior parece haber atribuido fama de astrónomo, que predijo el acceso al trono en Oriente del califa ᶜAbd al-Malik b. Marwān, fue enterrado en Zaragoza y al que ciertas fuentes consideran la causa de que esta ciudad se encuentre siempre a salvo de las serpientes las cuales no pueden entrar en ella sin morir inmediatamente[8]. Ahora bien, más interesante aún resulta el hecho de que se atribuya a Ḥanaš el haber determinado el acimut de la alquibla en las mezquitas aljamas de Córdoba y Zaragoza y haber construido sus respectivos *miḥrābs*: determinar con precisión la dirección de la alquibla para un lugar determinado es un problema técnicamente complejo que, desde luego, no estaba al alcance de Ḥanaš ni de ninguna otra persona de su generación pero tenemos aquí una de las primeras alusiones conocidas en al-Andalus a uno de los problemas fundamentales de los que se ocupa el *mīqāt*, especialidad astronómica desarrollada por la civilización islámica ya que trata de aquellos temas astronómicos que tienen relación directa con el culto (alquibla, horas de la oración, visión de la luna nueva que determina el principio del mes lunar etc.). Fuera, o no, Ḥanaš quien determinó la orientación del *miḥrāb* en la mezquita de Córdoba, alguien lo hizo, con un error importante (?, cf. § 2.4.1) que era perfectamente conocido en el siglo X, utilizando posiblemente prácticas consuetudinarias aplicables en Medina pero que se encontraban totalmente desplazadas en al-Andalus[9].

El segundo de los *tābiᶜūn* que voy a mencionar es mucho más conocido: se trata de Mūsà b. Nuṣayr, el principal responsable, junto con su cliente Ṭāriq b. Ziyād, de la conquista de al-Andalus. El historiador andalusí Ibn Ḥabīb le atribuye una reputación de astrólogo y astrónomo y nos presenta a Mūsà luchando contra ídolos y genios en la Península, creando así una leyenda que acabará incrustándose en las *Mil y Una Noches*. Ahora bien, un pasaje de la *Historia* de Ibn Ḥabīb — relativo a los preparativos de la conquista— presenta un interés muy especial y merece la pena transcribirlo:

[8] Esta protección se ejerce a través de algún tipo de talismán. Ḥanaš, nombre probablemente totémico, significa «serpiente». Cf. D. Bramón y J.A. Souto, «Las maravillas de Zaragoza», *Aragón en la Edad Media. Economía y Sociedad* 7 (1987), 7-25.

[9] Sobre la determinación de la alquibla en al-Andalus cf. D.A. King, «Three sundials from Islamic Andalusia», *Journal for the History of Arabic Science* 2 (1978), 358-392. Cf. también § 2.4.1.

> Mūsà, que era uno de los hombres que mejor conocía la astrología, escribió a Ṭāriq: «Encontrarás una roca situada junto a la costa. Haz regresar, entonces, a tus barcos y busca, entre tus gentes, a alguno que conozca los nombres de los meses siriacos. Luego, cuando llegue el veintiuno del mes de *ayyār* que, en el calendario de los no árabes, se corresponde con mayo, podrás avanzar, con la bendición y la ayuda de Dios, y continuar gracias a su favor y apoyo, hasta que te encuentres en frente de una montaña roja en cuya base hay una fuente cuyas aguas corren en dirección este, y junto a la cual verás la estatua de un ídolo en forma de toro. Rompe la estatua y busca un hombre muy alto y rubio, estrábico de ambos ojos y con una mancha en ambas manos. Ponle al frente de la vanguardia de tu ejército».
>
> Cuando la carta le llegó a Ṭāriq, éste respondió a Mūsà b. Nuṣayr: «Obedeceré tus órdenes pero, en lo que respecta a la descripción del hombre que me dices que busque, el único que conozco que se ajusta a ella soy yo mismo».[10]

Encontramos la misma anécdota en otra fuente, el *Kitāb al-imāma wa-l-siyāsa* del pseudo-Ibn Qutayba[11] y, escrito sin duda por un partidario de Mūsà, pero en esta nueva versión aparecen dos diferencias significativas: en primer lugar, no se mencionan los conocimientos astrológicos de Mūsà y, por otra parte, la búsqueda de un hombre que conozca los nombres de los meses siriacos debe llevarse a cabo antes de que Ṭāriq y sus tropas embarquen a bordo de sus barcos. Se ha cambiado también, por otra parte, la fecha ya que ésta, en el texto del pseudo-Ibn Qutayba ya no es el 21 de

[10] El texto árabe ha sido editado por M. ᶜA. Makkī, «Egipto y los orígenes de la historiografía arábigo-española. Contribución al estudio de las primeras fuentes de la historia hispano-musulmana», *Revista del Instituto de Estudios Islámicos* 5 (1957), 221. Ha aparecido recientemente la edición completa del *Kitāb al-Taᶜrīj* de ᶜAbd al-Malik b. Ḥabīb realizada por J. Aguadé (Madrid, 1991): cf. pág. 137.

[11] Cf. J. Ribera, *Historia de la conquista de España de Abenalcotía el Cordobés, seguida de fragmentos históricos de Abencotaiba, etc.*, Madrid, 1926, pp. 120-121 (texto árabe) y 105-106 (trad. castellana).

ayyār (mayo) sino el 21 de *aḏār* (marzo). Parece obvio que Ibn Ḥabīb subraya las implicaciones astrológicas de la anécdota: Mūsà ha levantado el horóscopo con el fin de elegir el momento propicio para que Ṭāriq inicie su campaña y ha establecido que este momento coincide con el 21 de Mayo. La referencia a los meses siriacos implica claramente que, según Ibn Ḥabīb, Mūsà ha utilizado unas tablas astronómicas en las que los movimientos medios de los planetas aparecen tabulados de acuerdo con el calendario siriaco. No veo claro, por otra parte, el que la referencia al toro deba analizarse dentro de este contexto astrológico: el 21 de Mayo el sol habrá cruzado por completo el signo de Tauro y se encontrará en el principio de Geminis, pero puede también tratarse de un recuerdo de las estatuas zoomorfas ibéricas que los musulmanes encontraron al llegar a la Península y consideraron, probablemente, ídolos de una religión pagana.

La versión del pseudo-Ibn Qutayba pretende, en cambio, defender la figura y la ortodoxia de Mūsà ya que, como es bien sabido, la astrología ha sido siempre mal vista por los musulmanes bien pensantes. Esta es la causa de las diferencias que hemos apreciado en la segunda versión y que nos permiten atisbar cuál es la base histórica de la anécdota: el 21 de marzo corresponde, aproximadamente, al equinoccio de primavera, una fecha significativa para la navegación ya que, desde la Antigüedad, se recomendaba no navegar por el Mediterráneo en invierno[12]. Lo que aquí hace Mūsà es, simplemente, prohibir a Ṭāriq que cruce el estrecho durante una época del año que la experiencia ancestral considera peligrosa.

Esta anécdota no es la única que nos presenta a Mūsà haciendo gala de este tipo de conocimientos científicos o paracientíficos: otra, recogida por el pseudo-Ibn Qutayba[13], parece considerar a Mūsà capaz de resolver uno de los problemas más árduos del *mīqāt*: predecir si la luna nueva será, o no, visible en una determinada localidad y fecha. Atribuir a Mūsà un conocimiento de esta índole no supone desdoro alguno para su ortodoxia y el pseudo-Ibn Qutayba no introduce cambios significativos en la anécdota que confirma lo que antes apuntaba al hablar de Ḥanaš y la orientación de los *miḥrābs* de Cór-

[12] J. Samsó, «La tradición clásica en los calendarios agrícolas hispanoárabes y norteafricanos». *Segundo Congreso Internacional de Estudios sobre las Culturas del Mediterráneo Occidental*, Barcelona, 1978, pp. 182-183.

[13] Ps.-Ibn Qutayba *apud* Ribera, *Abenalcotía* pp. 183-184 (ár.) y 158-159 (trad. cast.).

doba y Zaragoza: los invasores musulmanes de cultura árabe debieron traer consigo ciertos conocimientos de *mīqāt*, sin duda muy rudimentarios, así como ideas acerca de los movimientos del sol y de la luna en cuanto constituyen el fundamento del calendario lunar musulmán[14]. A esto hay que añadir nociones de astrometeorología de acuerdo con el antiguo sistema de los *anwā'* —ortos helíacos y ocasos acrónicos simultáneos de pares de estrellas que, al jalonar el año solar, coinciden con fenómenos meteorológicos cíclicos y permitían a los antiguos árabes realizar predicciones acerca del tiempo — que dará sus frutos en al-Andalus a partir del siglo X con el *Calendario de Córdoba* (§ 2.4.3) y otras obras afines. Poco más puede considerarse que fue la aportación árabe de estos primeros tiempos y, desde luego, no puede creerse que introdujeran una astrología desarrollada ya que ésta no se encuentra documentada en la tradición cultural árabe anterior al Islam.

1.4 EL «LIBRO DE LAS CRUZES», EL TEXTO ASTROLOGICO ANDALUSI MAS ANTIGUO CONOCIDO.

Hemos visto ya que las leyendas sobre la conquista atribuyen a los cristianos de al-Andalus ciertos conocimientos de tipo esotérico que les permiten predecir el futuro. Los historiadores árabes, por otra parte, parecen haber sido conscientes de la existencia de una cultura preislámica en la Península en la que los conocimientos científicos tenían su papel: tal es el caso de un anónimo magribí de la segunda mitad del siglo XIV o de comienzos del XV, que atribuye al rey Sisebuto (612-621) ciertos escritos *en verso* sobre cuestiones relativas a la astronomía, astrología y medicina: nada sabemos acerca de los escritos médicos de Sisebuto pero este monarca es, sin duda, el autor de una *Epistula metrica ad Isidorum de libro rotarum* donde, *en verso*, da una explicación racional y correcta de los eclipses de sol y de luna. Por otra parte, el célebre historiador andalusí al-Rāzī nos habla de la fama de Isidoro de Sevilla como astrólogo, lo que— dada la indefinición de los límites entre astronomía y astrología en la Edad Media y hasta mucho más tarde — puede explicarse por la

[14] El Pseudo-Ibn Qutayba — *apud* Ribera, *Abenalcotía* pp. 185-186 (ár.) y 160-161 (trad. cast.) — afirma explícitamente que uno de los musulmanes que estaban en al-Andalus con Mūsà se interesaba por el estudio de los movimientos del sol y de la luna.

parte astronómica de sus *Etimologías* y por su libro *De natura rerum*[15]. Ahora bien, para el estudio de la supervivencia de una tradición astronómico-astrológica latino-visigoda en el al-Andalus del siglo VIII disponemos, afortunadamente, de una fuente primaria que nos permite ahondar mejor en el tema: se trata del *Libro de las Cruzes* alfonsí[16] el cual, de acuerdo con su primer prólogo, fue «hallado» por Alfonso X el cual lo hizo traducir del árabe al castellano por Yehudá ben Mošé (fl. 1225-1276) con la colaboración de Johan Daspa. Ahora bien, este mismo texto da más información ya que nos dice que lo «fizieron los sabios antigos» y lo «esplanó Oueydalla el sabio»: el original árabe traducido era, pues, una reelaboración de un texto «antiguo», realizada por un tal «Oueydalla» (ᶜUbayd Allāh), identificado conjeturalmente por Millás[17] con Abū Marwān ᶜUbayd Allāh b. Jalaf al-Istiŷī, astrólogo del siglo XI. Un segundo prólogo del libro, debido esta vez a Oueydalla, nos informa de que el sistema de las cruces era utilizado en la antigüedad por los habitantes de «Africa» (probablemente Ifrīqiya = Túnez), Berbería y por una parte de los romanos de España, y que prescindía de las «sotilezas» propias de los tratados de astrología escritos por los sabios orientales de Babilonia, Egipto, Persia y Grecia. Esta información de la versión alfonsí se ha visto plenamente confirmada, en los últimos años, gracias al descubrimiento de dos manuscritos árabes que contienen textos relacionados con el sistema de las cruces[18], en uno de los cuales aparece el texto astrológico andalusí más antiguo conocido: se trata de un fragmento, constituido por 39 versos, de un poema didáctico escrito por el astrólogo, antes citado, ᶜAbd al-Wāḥid b.

[15] J. Samsó, «Nota sobre la biografía de Sisebuto en un texto árabe anónimo», *Serta Gratulatoria in honorem Juan Régulo*. Vol. I: *Filología*, La Laguna, 1985, 639-642.

[16] Alfonso El Sabio, *Libro de las Cruzes*. Ed. de L. A. Kasten y L. B. Kiddle, Madrid-Madison, 1961.

[17] J. M. Millás Vallicrosa, «Sobre el autor del "Libro de las Cruces"». *Al-Andalus* 5 (1940), 230-234; cf. también *Isis* 19 (1933), 530. Un trabajo aún inédito de M. Castells («Un nuevo dato sobre el *Libro de las Cruces* en *al-Zīŷ al-Muṣṭalaḥ* (obra astronómica egipcia del siglo XIII)», en curso de publicación en *al-Qanṭara*, aporta una nueva información: el autor de la revisión se llamaría ᶜAbd Allāh ibn Aḥmad al-Ṭulayṭulī, personaje sin identificar pero a quien parece que hay que situar en Toledo en la segunda mitad del s. XI.

[18] J. Vernet, «Tradición e innovación en la ciencia medieval», *E.H.C.M.*, 173-189; R. Muñoz, «Textos árabes del "Libro de las Cruces" de Alfonso X», *T.E.A.E.S.XIII*, 175-204.

Isḥāq al-Ḍabbī (fl. c. 800) y constituyen la versificación del capítulo 57 de la versión alfonsí[19]. Al-Ḍabbī es un personaje conocido, «el Ptolomeo de su tiempo por sus conocimientos en materia de astrología y acerca de los movimientos de los cuerpos celestes» (!) según afirma al-Maqqarī: contemporáneo del emir cordobés Hišām I (788-796), fue llamado por éste a Córdoba en cuanto se produjo su subida al trono. El astrólogo acudió desde Algeciras y el encuentro entre los dos personajes, tal como lo refieren Ibn al-Qūṭiyya y al-Maqqarī[20], resulta curiosísimo en cuanto nos muestra los esfuerzos del príncipe omeya para saciar su curiosidad por conocer el pronóstico de al-Ḍabbī acerca del futuro de su reinado sin que ello afecte la ortodoxia de sus convicciones religiosas. En efecto, el monarca empieza por afirmar que, pese a las preguntas que dirige al astrólogo, no cree en sus respuestas ya que se relacionan con cosas ocultas que sólo Dios conoce. No obstante, cuando al-Ḍabbī informa al emir de que su reinado será afortunado, pero que sólo durará unos ocho años (seis o siete según Ibn al-Qūṭiyya) — un pronóstico realmente acertado — Hišām acepta su predicción y consagra el resto de su vida a la piedad y las buenas obras porque ha creido oir, en las palabras de al-Ḍabbī, una advertencia divina.

El haber podido documentar una versión del *Libro de las Cruzes* a fines del siglo VIII o principios del IX tiene una consecuencia evidente: no existe, en esta época, evidencia alguna de la introducción en al-Andalus de textos astrológicos (o astronómicos) orientales, de fuente india, persa o griega. A esto debe añadirse que la versión castellana, como hemos visto, y los fragmentos árabes conservados insisten en que el «sistema de las cruces» (*ṭarīqat aḥkām al-ṣulūb*) era el sistema antiguo de predicción astrológica empleado por los *rūm* (¿romanos?, ¿cristianos?) de al-Andalus, Ifrīqiya y el Magrib, antes de que se introdujeran los sistemas más evolucionados debidos a los astrólogos orientales. De todo esto puede concluirse, tal como hizo Vernet, que el *Libro de las Cruzes* representa la última etapa en la evolución de un manual de astrología cuyos orígenes se en-

[19] Cf. una edición y traducción en J. Samsó, «La primitiva versión árabe del Libro de las Cruces», *N.E.A.E.S.A.X*, 149-161. Sobre toda esta cuestión cf. también J. Samsó, «The Early Development of Astrology in al-Andalus», *Journal for the History of Arabic Science* 3 (1979), 228-243; «Alfonso X y los orígenes de la astrología hispánica» *E.H.C.A.*, 81-114.

[20] Ribera, *Abenalcotía* pp. 41-42 (ár.) y 32-33 (trad. cast.); Maqqarī, *Nafḥ* ed. I. ᶜAbbās I, 334-335.

cuentran en la baja latinidad y que se utilizaba en España y en el norte de Africa antes de la invasión musulmana. Este tipo de técnica astrológica sobrevivió, por otra parte, a la etapa de orientalización de al-Andalus: tenemos motivos para creer que era utilizado por los astrólogos áulicos de Almanzor (981-1002)[21], sabemos que fue reelaborado por ᶜUbayd Allāh en el siglo XI, y adquirió una nueva vida en el siglo XIII gracias a la labor de los traductores alfonsíes, poco después de que surgiera, en la Corona de Aragón, un intento similar de crear una astrología simplificada, al alcance de las clases menos pudientes: me refiero a la *Nova Astronomia* de Ramón Llull[22].

Ahora bien, ¿en qué consisten las técnicas empleadas en el «sistema de las cruces» y en qué medida son menos «sutiles» que las de la astrología «oriental»?. Tenemos, en primer lugar, una presentación distinta del horóscopo que tiene la estructura de un círculo con tres diámetros que forman tres cruces entre sí: las casas astrológicas de número impar se encuentran en las extremidades de los diámetros (*aṭrāf*) mientras que las casas pares se encuentran en los ángulos (*zawāyā*) situados entre dos diámetros. Mi maestro J. Vernet me señala que el horóscopo de este tipo puede relacionarse con la presentación que adoptan algunos horóscopos demóticos estudiados por Neugebauer y Van Hoesen[23]: esta hipótesis puede fácilmente comprobarse en la figura 1 en la que puede verse la evolución que nos lleva del horóscopo de las cruces (a) al horóscopo demótico (b) y al horóscopo cuadrado de forma habitual (c).

Puede señalarse, en segundo lugar, que en un horóscopo de tradición clásica, el principio de una de las doce casas en las que se divide no tiene por qué coincidir con el comienzo de un signo zodiacal, lo cual plantea el problema — a veces bastante complicado — de dividir las casas por uno de los sistemas establecidos[24]. Este problema se elude en el sistema de las cruces en el que, en el mejor de los casos, se identifican casas con signos zodiacales (un expediente

[21] J. Vernet, «Astrología y política en la Córdoba del siglo X», *Revista del Instituto de Estudios Islámicos* 15 (1970), 91-100.

[22] J. Samsó, «Notas sobre la astronomía y la astrología de Llull», *Estudios Lulianos* 25 (1981-83), 199-220.

[23] O. Neugebauer y H.B. Van Hoesen, «Greek Horoscopes», *Memoires of the American Philosophical Society* vol. 48, Philadelphia, 1959.

[24] Cf. sobre este problema J. North, *Horoscopes and History*, The Warburg Institute, Londres, 1986.

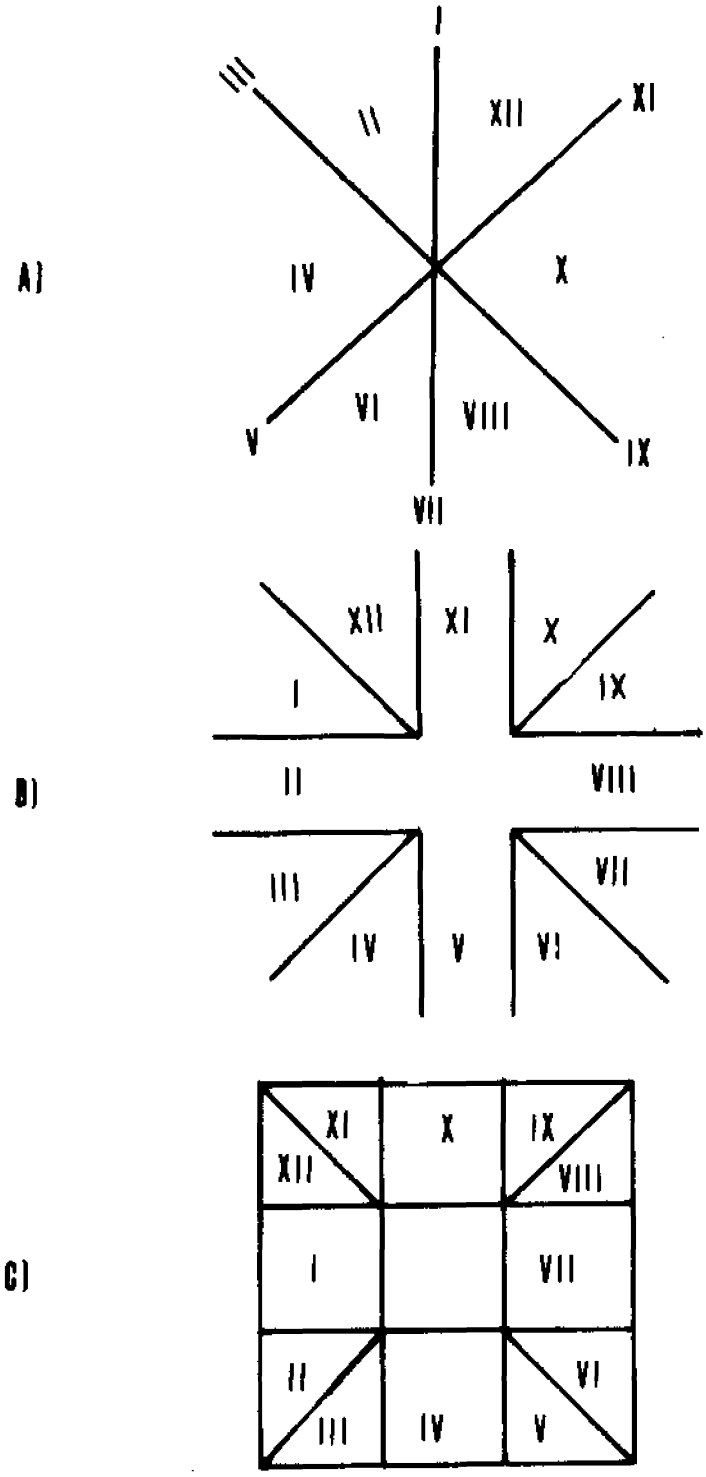


Fig. 1

a) Horóscopo de las cruces; b) Horóscopo griego demótico documentado a fines del siglo V de J.C.; c) Horóscopo cuadrado de forma habitual en fuentes bizantinas, islámicas y latinas.

que no resulta desconocido para otros astrólogos árabes) y, con mucha frecuencia, se prescinde de cualquier referencia a las casas y el pronóstico se elabora sobre la base de la presencia de los planetas en las triplicidades de fuego (Aries, Leo, Sagitario), tierra (Tauro, Virgo, Capricornio), aire (Géminis, Libra, Acuario) y agua (Cáncer, Scorpio y Piscis). Se consideran, habitualmente, las posiciones de Saturno, Júpiter, Marte y el sol que reciben la denominación de «planetas altas» (*al-kawākib al-ᶜulwiyya*) o «planetas pesadas» (*al-darārī' al-ṯiqal*) aunque, a veces, se tenga también en cuenta la posición que ocupan la Luna, sus nodos ascendente y descendente, Mercurio y, finalmente, la triplicidad en la que ha tenido lugar un eclipse solar o lunar. El sistema de las cruces considera los aspectos usuales de la astrología helenística (conjunción, oposición, cuadratura y trígono) — que eran bien conocidos por la tradición isidoriana ya que aparecen representados en una interpolación sobre «astrología geométrica» en los manuscritos de las *Etimologías* pertenecientes a la «familia hispánica»[25] — pero añade un quinto aspecto, la *quemazón* (*iḥtirāq*), que nada tiene que ver con la *combustión* de la astrología clásica. En efecto, un astrólogo y astrónomo oriental de gran prestigio como al-Bīrūnī (973-1048) considera que un planeta está *combusto* cuando, en medio de su retrogradación, su distancia del sol está comprendida entre 16' y 6°[26]. Hay, en cambio, *iḥtirāq* en el *Libro de las Cruzes* cuando todos los «planetas altas» se encuentran juntos en el mismo signo o dispersos en la misma triplicidad[27].

Podemos añadir por otra parte que, en los horóscopos de las cruces, las longitudes de los planetas son medias y no verdaderas así como sidéreas, es decir calculadas sin tener en cuenta la precesión de los equinoccios. Esto nos ayuda a resolver un problema evidente: si, como veremos, la introducción de las primeras tablas astronómicas en al-Andalus tuvo lugar durante el emirato de ᶜAbd al-Raḥmān II (821-852), ¿cómo podían calcular los astrólogos del año 800 las longitudes planetarias que eran imprescindibles para levantar un horós-

[25] J. Fontaine, *Isidore de Séville et la culture classique dans l'Espagne Wisigothique*, París, 1959, I, 393-407.

[26] al-Bīrūnī, *The Book of Instruction in the Elements of the Art of Astrology*, trad. inglesa de R. Ramsay Wright, Londres, 1934, p. 296.

[27] M.D. Poch, «El concepto de quemazón en el Libro de las Cruces», *Awrāq* 3 (1980), 68-74.

copo?. Si partimos de la base de que los astrólogos de las cruces computaban posiciones medias, no verdaderas, de los planetas, es posible que utilizaran reglas aproximadas -- similares a las expuestas en el mundo clásico por Vettius Valens[28] -- o tablas -- que aparecen en textos griegos y demóticos del Bajo Imperio Romano -- que permitían establecer a simple vista el signo en el que se encontraba un planeta en una fecha determinada. Ahora bien, para que tales reglas o tablas resultaran accesibles a los astrólogos de la generación de al-Ḍabbī o anteriores a la misma deberíamos comprobar, siguiendo con la teoría del sustrato latino-visigótico de toda esta cultura astronómico/astrológica, qué reglas y diagramas se encuentran documentadas en los tratados de cómputo eclesiástico que constituyen, probablemente, la mejor fuente de la que disponemos para el estudio de los conocimientos astronómicos de la época. En algunos trabajos anteriores[29] he podido comprobar que tales reglas y diagramas aparecen con frecuencia en lo que se refiere al sol y a la luna, los dos astros que, sin duda, más interesaban a los computistas, preocupados, ante todo, por el calendario. Así, tablas y ruedas calendáricas que nos dan la posición del sol para cada mes del año están documentadas en la tradición hispánica desde el siglo IX y es posible que derive de ellas el característico diagrama que aparece al dorso de los astrolabios «hispano-moriscos» (Fig. 2)[30]: el llamado *calendario zodiacal* que establece una correspondencia biunívoca entre fecha del año juliano y longitud del sol. En lo que respecta a la luna, existen multitud de reglas documentadas en fuentes tardías, tanto latinas como árabes, como las que aparecen, a mediados del

[28] O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Berlín-Heidelberg - Nueva York, 1975, pp. 793-801 y 823-826.

[29] J. Samsó, «En torno a los métodos de cálculo utilizados por los astrólogos andalusíes a fines del s. VIII y principios del IX: algunas hipótesis de trabajo», *Actas de las II Jornadas de Cultura Arabe e Islámica (1980)*, Madrid, 1985, pp. 509-522; «Dos reglas para determinar, por aproximación, la longitud de la luna», *N.E.A.E.S.A.X*, 143-148; (en colaboración con J. Martínez Gázquez), «Astronomía en un tratado de cómputo del siglo XIII», *Faventia* 4 (1982), 45-65.

[30] Este diagrama no aparece en los astrolabios orientales hasta una época relativamente tardía (cf. § 5.2.1). Es difícil argumentar que era conocido por al-Bīrūnī sobre la base de su libro sobre las sombras (Cf. E.S. Kennedy, *The Exhaustive Treatise on Shadows*, Alepo, 1976, vol. I p. 76 y II pp. 28-29): el texto es demasiado ambiguo y en él se discute el problema de establecer algún tipo de esquema que permita determinar las horas de la oración a lo largo del año -- utilizando, evidentemente, un calendario solar -- con un «instrumento» sin más precisiones.

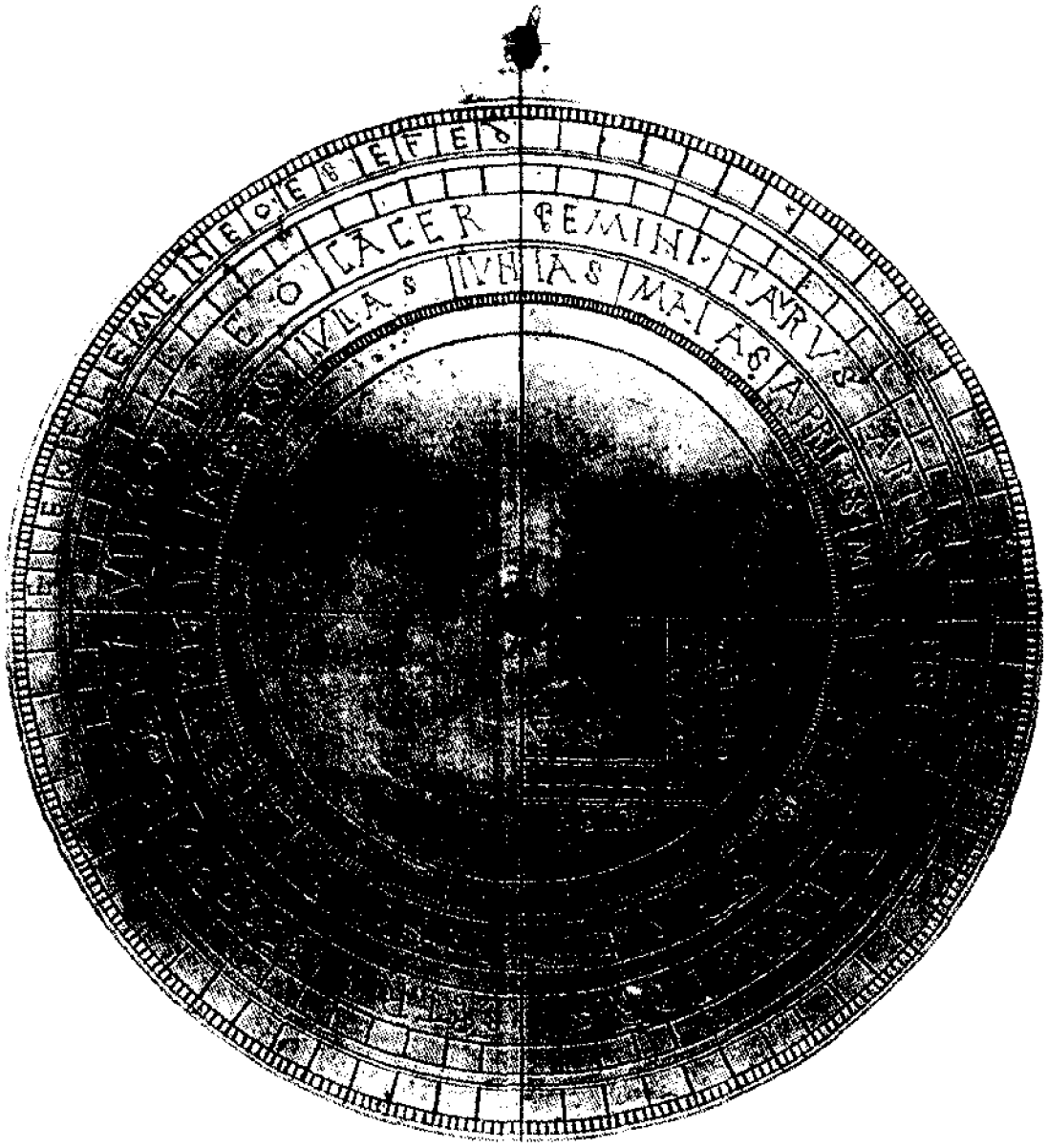


Fig. 2

Calendario zodiacal situado en el dorso del astrolabio que fue propiedad de M. Destombes y se encuentra en el Institut du Monde Arabe (Paris). Se trata, probablemente, del astrolabio latino más antiguo conocido y parece de tradición andalusí.

siglo X, en el *Kitāb al-hay'a* de Qāsim b. Muṭarrif al-Qaṭṭān (cf. § 2.4.2 y § 2.5.1), que permiten documentar la mansión de la luna y su grado utilizando el calendario solar o el lunar[31] pero tiene mucho mayor interés el llamar la atención sobre la *tabla cuadrática de los signos zodiacales* (cf. figura 3) que remonta, por lo menos, al siglo VIII (aunque los manuscritos latinos antiguos en los que aparece son del siglo IX) y que se encuentra, asimismo, en fuentes árabes[32]. Con esta tabla podía determinarse, aproximadamente, el signo zodiacal de la luna sabiendo el número de días transcurridos desde el comienzo del mes lunar (algo obvio si se utiliza el calendario lunar musulmán) y la posición aproximada del sol en el momento de la conjunción. Finalmente, en lo que respecta a los planetas, la evidencia es mucho más escasa aunque disponemos de algunos textos, de los que el más completo es el pseudo-Beda *De planetarum et signorum ratione* en el que, partiendo de las presuntas posiciones de los planetas en el momento de la Creación (3761 a. de C.), se nos da una doble serie de reglas para calcular las posiciones medias de Saturno, Júpiter, Marte y Venus, prescindiendo de Mercurio ya que, según señala el texto, este planeta se encuentra siempre en el signo del sol, en el que le precede o en el que le sigue.

Señalaré, por último, que el interés predominante del *Libro de las Cruzes* se centra en cuestiones de astrología meteorológica, haciendo predicciones acerca de períodos de lluvia y sequía y sus correspondientes disminuciones e incrementos en los precios de los productos alimenticios. Así los dos textos árabes que contienen fragmentos de este libro llevan por título, respectivamente, *Kitāb al-amṭār wa-l-asᶜār* («Libro de las lluvias y de los precios») y *Bāb al-asᶜār wa-l-amṭār ᶜalà ra'y ahl al-ṣulūb* («Capítulo sobre los precios y de las lluvias según la opinión de los partidarios del sistema de las cruces»). Todo ello no puede extrañarnos en la Península Ibérica en la que los siglos VIII, IX y X se caracterizaron por largos períodos de sequía.

[31] Ms. Istambul Carulla 1279 fol. 318 r. Debo el haber podido disponer de un microfilm de este manuscrito a la amabilidad del Prof. Fuat Sezgin.

[32] F. Castelló, «Una tabla cuadrática de los signos zodiacales en un tratado de astronomía árabe», *N.E.A.E.S.A.X* pp. 139-141.

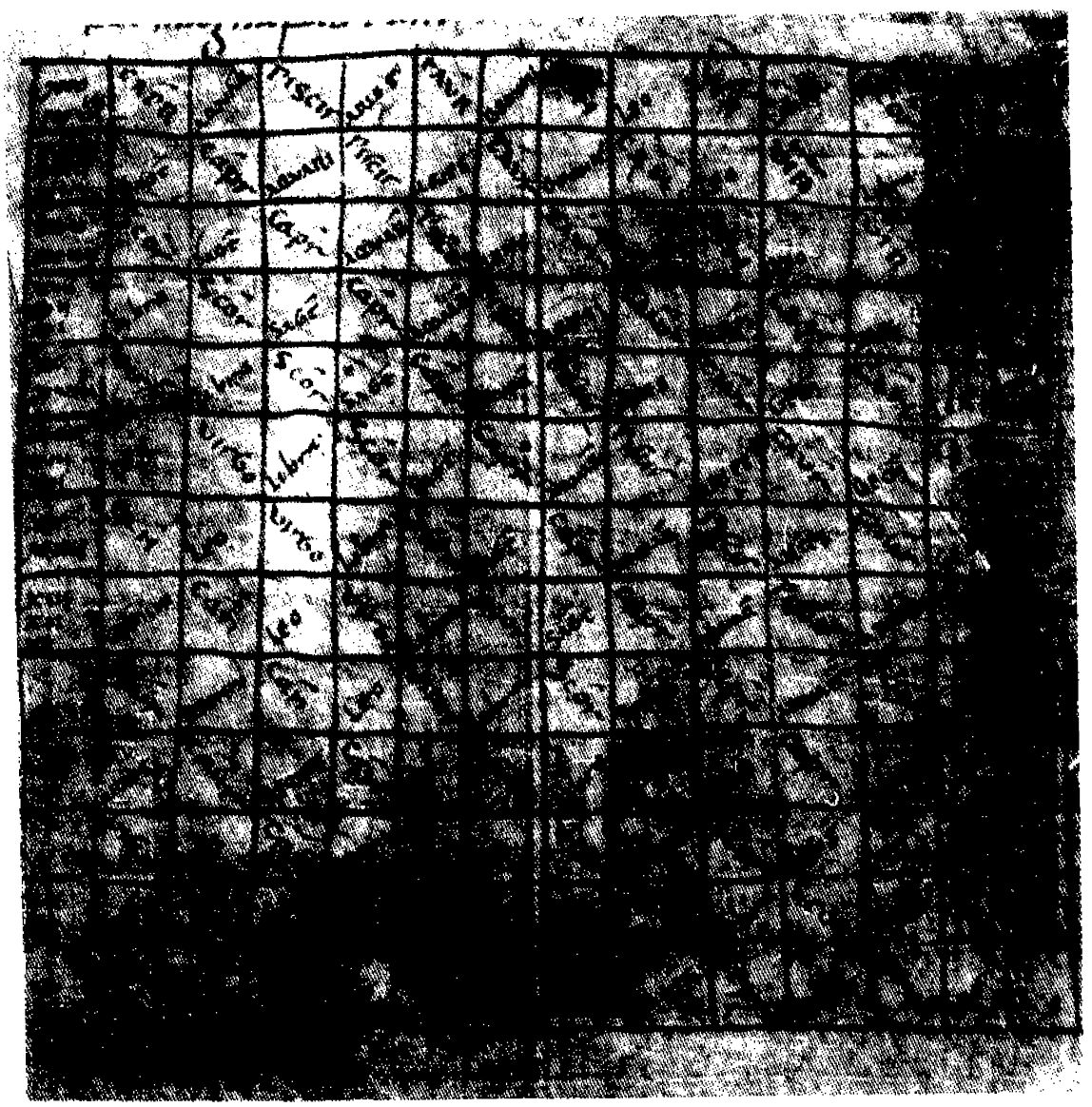


Fig. 3

Tabla cuadrática de los signos del zodiaco tal como aparece en el manuscrito 106 (s. X) de la Abadía de Ripoll, conservado en el Archivo de la Corona de Aragón. Con ella podía determinarse en qué signo zodiacal se encontraba la Luna.

1.5 UN EXCURSUS SOBRE CULTURA, MEDICINA Y AGRONOMIA LATINAS EN AL-ANDALUS DURANTE LOS SIGLOS IX-XI.

El *Libro de las Cruzes* es una pieza clave para apoyar la teoría de la supervivencia de una ciencia latino-visigótica, difundida posiblemente por los mozárabes, en al-Andalus durante el primer siglo del emirato. No constituye, no obstante, un hecho aislado sino que confirma lo que ya sabemos acerca de un cierto tipo de cultura de la época. Así, por ejemplo, el célebre Eulogio de Córdoba — el instigador del movimiento de mártires voluntarios cristianos que se inicia en el 850 — tenía una excelente biblioteca de libros latinos en la que se encontraba el códice R.II 18 (*Ovetense*) de El Escorial que contiene una parte del *De natura rerum* de Isidoro de Sevilla, textos geográficos (derivados de las *Etimologías* y de otras fuentes), una mención de los eclipses del 778 y 779, el catálogo de la biblioteca de la Iglesia de Córdoba, todo ello acompañado por notas marginales en árabe que aparecen también en otros manuscritos latinos que contienen las *Etimologías*[33]. Estas glosas, al igual que otras que aparecen en los manuscritos del *scriptorium* de Ripoll[34], no tienen por qué ser concluyentes para nuestra argumentación ya que pueden fácilmente atribuirse a la labor de mozárabes arabizados. No obstante, es obvio que ciertos elementos culturales de tradición isidoriana se introdujeron en el mundo de los musulmanes andalusíes como sucede, por ejemplo, con las descripciones geográficas, de carácter general, de la Península Ibérica que aparecen en la mayoría de los geógrafos e historiadores andalusíes: estas descripciones suelen derivar del prólogo geográfico de al-Rāzī (m. c. 955) quien, a su vez, recurre a fuentes latinas según él reconoce expresamente («según cuentan los sabios cristianos de España», «et yo fallé escripto en los libros de los cristianos»), fuentes que se han identificado con Orosio y S. Isidoro entre otros[35]. Ahora bien, el que se recurra a fuentes latinas para una descripción geográfica de carácter general de la Península

[33] G. Levi della Vida, «I mozarabi tra Occidente e Islam», *L'Occidente e l'Islam nell'Alto Medioevo*, Settimane di Studio del Centro Italiano di Studi sull'Alto Medioevo, XII,2 (Spoleto, 1965), 667-695.

[34] J. Millás Vallicrosa, *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval*, Barcelona, 1931, 91-92.

[35] J. Vallvé Bermejo, «Fuentes latinas de los geógrafos árabes», *Al-Andalus* 32 (1967), 241-260.

Ibérica o que se las utilice, igualmente, para historiar el pasado preislámico de al-Andalus[36] resulta, para lo que aquí me interesa, menos significativo que la introducción — muy frecuente en los textos de carácter astronómico — de la Era Hispánica (*ta'rīj al-ṣufr*, 1 de enero del 38 a. C.), cuya primera documentación es la *Historia Gothorum...* de Isidoro de Sevilla[37], o que la concepción del ecumene que aparece en el célebre mapa isidoriano en T, con leyendas fundamentalmente en árabe y, secundariamente, en latín que se encuentraen un manuscrito de la Biblioteca Nacional de Madrid (cf. Fig. 4). Este mapa fue dibujado bien por un musulmán que conocía perfectamente la tradición isidoriana, bien por un cristiano profundamente arabizado[38].

Volvamos, ahora, a campos más próximos a lo que es, propiamente la historia de la ciencia. Más tarde hablaré de los elementos culturales de tradición mozárabe que aparecen en el *Calendario de Córdoba* (§ 2.4.3). Otra fuente del máximo interés es el *Kitāb ṭabaqāt al-aṭibbā' wa-l-ḥukamā'* («Categorías de médicos y sabios»)[39] de Ibn Ŷulŷul al-Andalusī (n. 943), autor que confiesa utilizar fuentes latinas entre las que se encuentran Isidoro y la versión latina realizada por S. Jerónimo de la *Crónica* de Eusebio de Cesarea, que había sido objeto de una traducción árabe en Córdoba en tiempos de al-Ḥakam II (961-976). Ahora bien, el interés de Ibn Ŷulŷul en este contexto radica en el hecho de que marca claramente los límites

[36] La bibliografía es extensísima y se encontrará, en buena parte, recopilada en J. Samsó, «Alfonso X y los orígenes de la astrología hispánica» pp. 111-112 (nota 101). Entre las novedades citaré la edición de la traducción árabe de la *Historia* de Orosio que ha llevado a cabo ᶜA. R. Badawī, Beirut, 1982; L. Molina, *Una descripción anónima de al-Andalus*. 2 vols. Madrid, 1983; L. Molina, «Sobre la procedencia de la historia preislámica inserta en la Crónica del moro Rasis», *Awrāq* 5-6 (1982-83), 133-139; L. Molina, «Orosio y los geógrafos hispanomusulmanes», *Al-Qanṭara* 5 (1984), 63-92.

[37] Cf. G. Levi della Vida, «The "Bronze Era" in Moslem Spain», *Journal of the American Oriental Society* 63 (1943), 183-190; reimpr. en *Note di Storia Letteraria Arabo-Ispanica*, Roma, 1971, 109-122; O. Neugebauer, «On the "Spanish Era"». *Chiron* 11 (1981), 371-380.

[38] G. Menéndez Pidal, «Mozárabes y asturianos en la cultura de la Alta Edad Media en relación especial con la historia de los conocimientos geográficos», *Boletín de la Real Academia de la Historia* 134 (1954), 137-291.

[39] Ed. F. Sayyid, El Cairo, 1955.

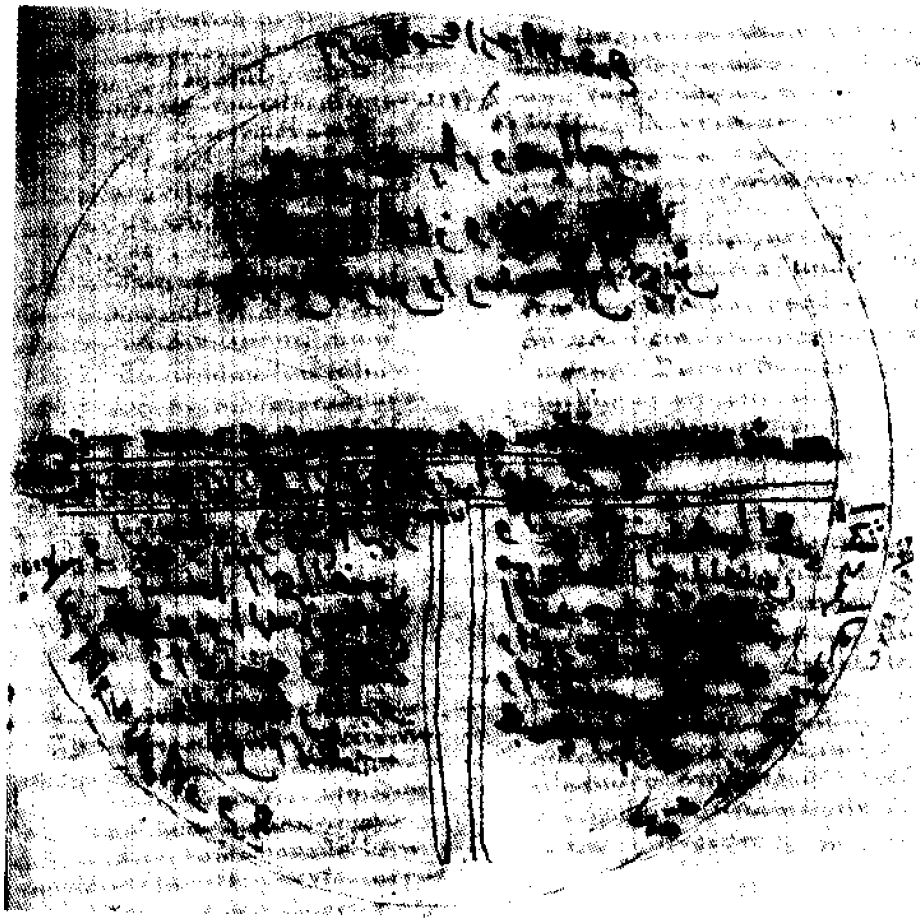


Fig. 4

Mapa en T, de tradición isidoriana, árabo-latino que aparece en el manuscrito Vitr. 14-3 de la Biblioteca Nacional (Madrid).

cronológicos de la influencia latina en la medicina de al-Andalus[40]: en efecto, este autor nos señala que la medicina andalusí estuvo controlada por los cristianos hasta la época de ᶜAbd al-Raḥmān III (912-961) y que «en al-Andalus se practicaba la medicina según uno de los libros de los cristianos que había sido traducido. Se titulaba *Aforismo*, palabra que significa "suma" o "compilación"». Hourani ha interpretado este pasaje como una supervivencia de los *Aforismos* de Hipócrates[41] pero, si creemos en la definición de Isidoro (*Etimol.* 4,10: «Aforismus est sermo brevis, integrum sensum propositae rei scribens»), habría que considerar que esta palabra designa un género literario dentro de la literatura médica de la época. Ahora bien, en paralelo con Ṣāᶜid de Toledo, Ibn Ŷulŷul empieza a mencionar médicos andalusíes a partir del emirato de Muḥammad (852-886) durante el cual, así como en tiempos de sus dos sucesores al-Munḏir (886-888) y ᶜAbd Allāh (888-912), es decir en la segunda mitad del siglo IX y principios del X, entre los seis médicos que cita, *cinco* son cristianos y dos de ellos llevan nombres tan significativos como Hamdīn b. *Ubba* (= Oppas) y Jālid b. Yazīd b. *Rumān*. Por otra parte, de uno de estos cinco médicos, Ŷawād, se nos dice que es autor del «medicamento del monje». Esta situación cambiará a partir del reinado de ᶜAbd al-Raḥmān III por más que parece persistir, todavía, la tradición médica latina personificada en Yaḥyà b. Isḥāq, hijo de un médico cristiano y autor de cinco cuadernos de «aforismos», a quien vemos consultando con un monje de un monasterio acerca del tratamiento que debía aplicarse al califa, el cual sufría de otitis[42]. La existencia de esta tradición viene confirmada por las implicaciones de las palabras del médico Saᶜīd b. ᶜAbd Rabbihi (m. c.953-977) el cual, en su poema didáctico sobre la medicina (*Urŷūza fī-l-ṭibb*), afirma que «los límites más elevados [de la medicina] sólo

[40] J. Vernet, «Los médicos andaluces en el "Libro de las generaciones de los médicos" de Ibn Ŷulŷul», *E.H.C.M.*, 469-486.

[41] G.F. Hourani, «The early growth of the secular sciences in Andalusia», *Studia Islamica* 32 (1970) p. 147.

[42] Cf. Vernet, «Los médicos andaluces» p. 457. El tratamiento recomendado por el monje (aplicar en el oido sangre caliente de un palomo recién degollado) no es precisamente un ejemplo de alto nivel científico en la medicina de la época pero lo cierto es que dio buen resultado, tras haber fracasado los intentos de los médicos de la corte califal.

serán alcanzados por aquellos que conozcan [los textos antiguos] traducidos al árabe (*al-muᶜarrabāt*)»[43].

Para terminar, señalaré que, además de la astrología, medicina, geografía e historia, otro campo en el que parece clara la supervivencia de una tradición latina es el de la agronomía. Hasta hace poco se aceptaba, de manera bastante general, la existencia de una tradición directa de Columela entre los agrónomos andalusíes llegándose incluso a postular la existencia de una traducción árabe del *De re rustica* que se habría llevado a cabo en al-Andalus. Esta teoría se basaba en las citas que el agrónomo Ibn Ḥaŷŷāŷ (fl. 1073) hace de un autor denominado Yūnyūs el cual era identificado con Iunius Moderatus Columela[44]. Rodgers desmontó, en 1978, esta teoría[45] al mostrar que las semejanzas entre las citas de Yūnyūs y ciertos pasajes del *De re rustica* se deben, ante todo, a la identidad del tema tratado, que existen también contradicciones y que las semejanzas son aún mayores si se comparan las citas de Yūnyūs con la obra agronómica de Vindanio Anatolio de Berito, conservada en una traducción árabe que deriva, a su vez, de una previa versión siriaca.

No obstante, por más que parezca que debamos abandonar la idea de una tradición de Columela en al-Andalus — la cual, para ciertos eruditos, fundamentaría un hecho diferencial entre la agronomía andalusí y la oriental — ni siquiera los autores más críticos han abandonado la idea de una supervivencia de la agronomía latina en la España Musulmana, dado que Ibn Ḥaŷŷāŷ afirma que se basa en la tradición de los *rūm* (mozárabes) de al-Andalus y que Ibn al-ᶜAwwām (último tercio del s.XII) afirma haber recogido opiniones de autores no musulmanes que no cita por su nombre sino introduciendo las citas mediante circunloquios del tipo «Hay agrónomos que dicen...», «Otros dicen...». Attié ha identificado una de estas fuentes anónimas en un manuscrito árabe de la Biblioteca Nacional de París. Su autor sería un cristiano ya que defiende el procedimiento evangélico de la fecundación del árbol estéril amenazándolo con un hacha. Se trata de un pequeño tratado de fines del siglo X cuyo autor, para Attié, es

[43] R. Kühne, «La *Urŷūza fī-l-ṭibb* de Saᶜīd ibn ᶜAbd Rabbihi», *Al-Qanṭara* 1 (1980), 279-338.

[44] Véase la edición reciente del *Kitāb al-muqniᶜ fī-l-filāḥa* de Ibn Ḥaŷŷāŷ, llevada a cabo por Ṣalaḥ Ŷarrār y Yasīr Abū Ṣafyā, Ammán, 1982.

[45] R.H. Rodgers, «¿Yūniyūs o Columela en la España Medieval?», *Al-Andalus* 43 (1978), 163-172.

un mozárabe con una cultura árabe notable, que cita a los autores clásicos a través de las versiones árabes orientales[46]. Por otra parte el propio Attié cree en la existencia de una traducción hispanoárabe de la obra agronómica de Marcial[47]

1.6 A MODO DE CONCLUSION.

D. Miguel Asín Palacios, cuyo estudio sobre Ibn Masarra sigue constituyendo un panorama válido de la primitiva historia intelectual de al-Andalus, afirmaba (en 1914) en el trabajo citado: «Cuanto se ha declamado en pro de la supervivencia y transmisión de la ciencia visigótica al islam español, carece de base documental»[48]. Creo que el panorama ha cambiado, en el plano paracientífico, gracias, sobre todo, a los descubrimientos de Vernet y Muñoz de textos árabes relacionados con la tradición del «sistema de las cruces» cuyo análisis nos permite tener una idea bastante ajustada acerca de los procedimientos de predicción astrológica utilizados por los astrólogos andalusíes del siglo VIII, así como intuir -- y aquí entramos en un terreno propiamente astronómico -- los procedimientos que utilizaban para calcular posiciones planetarias. A efectos de vincular esta tradición con una astronomía/astrología latino-visigoda resulta esencial haber podido vincular el sistema de las cruces con el nombre del primer astrólogo andalusí conocido, al-Ḍabbī, que no debió en modo alguno ser el primero ni el único. Por otra parte, he intentado mostrar que la supervivencia de una cultura latina en al-Andalus no se limita al terreno de la astrología sino que aparece, en etapas mucho más tardías, en otros campos culturales como la geografía, la historia, la medicina y la agronomía. Ahora bien, si Ibn Ŷulŷul nos dice que, hasta mediados del siglo IX -- y el proceso sigue en la segunda

[46] Este texto acaba de aparecer editado y traducido por A.C. López (*Kitāb fī tartīb awqāt al-girāsa wa-l-magrūsāt. Un tratado agrícola andalusí anónimo*, Granada, 1990) quien no parece muy convencido por la hipótesis de Attié y sugiere la posibilidad de que su autor pudiera ser el misterioso Ibn Abī-l-Ŷawād citado por Ibn al-ᶜAwwām (§ 5.5.4).

[47] B. Attié, «Ibn Ḥaǧǧāǧ était-il polyglotte?». *Al-Qanṭara* 1 (1980), 243-261; «L'ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al-ᶜAwwām», *Al-Qanṭara* 3 (1982), 299-332; «La bibliographie de *al-Muqniᶜ* de Ibn Ḥaǧǧāǧ», *Hespéris-Tamuda* 19 (1980-81), 47-74.

[48] M. Asín Palacios, «Ibn Masarra y su escuela. Orígenes de la filosofía hispanomusulmana», *Obras Escogidas* I (Madrid, 1946), p. 21.

mitad del siglo — la medicina que se practica en al-Andalus es de tradición latino-cristiana, no parece lógico dudar de que lo mismo sucediera durante el siglo VIII. La cultura científica aportada por los invasores musulmanes — que sólo puede atisbarse a través de una interpretación cautelosa de ciertos pasajes de los relatos y leyendas sobre la conquista — debía de ser forzosamente escasa e inferior a la humildísima ciencia visigoda. El espíritu de experimentación de que hacen gala ᶜAbd al-Raḥmān I y sus cortesanos al intentar aclimatar plantas orientales en los jardines de la Ruzafa cordobesa y otros lugares es algo excepcional. La situación no cambiará hasta que se inicie, en las postrimerías del período que nos ha ocupado en este capítulo, el largo proceso de orientalización científica de al-Andalus: hasta entonces parece predominar una cultura científica isidoriana, de carácter marcadamente eclesiástico y no debe cometerse el error de atribuir a esta cultura un papel similar al que desempeña la de las comunidades cristianas nestoriana y monofisita en la helenización del mundo árabe oriental[49]. La ciencia eclesiástica latina tenía, obviamente, muy poco que transmitir y sólo sobrevivió, en los primeros tiempos, debido al vacío cultural de una época en la que todavía no se había producido la recepción de la ciencia greco-oriental.

[49] De Lacy O'Leary, *How Greek Science passed to the Arabs*. Reimpr. Londres, Boston y Henley, 1979.

CAPITULO 2

LA ORIENTALIZACION DE LA CIENCIA ANDALUSI

(821-1031)

2.1 GENERALIDADES.

Hemos visto que, en la etapa anterior, el rasgo más característico era la supervivencia de una ciencia mozárabe. Ahora bien, no puede decirse, en modo alguno, que se trate de un rasgo exclusivo. El proceso de orientalización de la cultura andalusí empieza, por lo menos, con el acceso al trono del primer Omeya (756) con un primer período de influencia siria seguido por una etapa de influencia iraquí que se inicia a principios del siglo IX y se consolida bajo el emirato de ᶜAbd al-Raḥmān II (821-852)[1]. Los viajeros que parten hacia Oriente bien sea con el fin de cursar allí sus estudios, o para cumplir con la obligación de la peregrinación a La Meca, regresan trayendo consigo las últimas novedades. La mezquita aljama de Córdoba, fundada en el 786 por ᶜAbd al-Raḥmān I, se convierte en un centro de difusión cultural y, poco a poco, se introducen las enseñanzas de la medicina, las matemáticas y la astronomía que se cursan en las

[1] Este proceso ha sido muy bien descrito desde el punto de vista de la historia de la cultura andalusí por M. ᶜA. Makki, «Ensayo sobre las aportaciones orientales en la España Musulmana y su influencia en la formación de la cultura hispano-árabe», *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos* 9-10 (1961-62), 65-231 y 11-12 (1963-64), 7-140.

mezquitas o en las casas particulares (la *madrasa*, escuela dedicada exclusivamente a la enseñanza superior, aparecerá, como veremos, mucho más tarde, cf. § 6.2.2)[2]. Nada sabemos acerca del desarrollo de otras instituciones científicas como los hospitales. La noticia de que los había en Oriente debió llegar forzosamente a Córdoba: de acuerdo con el testimonio de Ibn Ŷulŷul, el médico y matemático cordobés Muḥammad ibn ᶜAbdūn al-Ŷabalī viajó a Oriente en el año 958, fue director (*dabbara*) del hospital de Fusṭāṭ (Cairo Viejo) y regresó a al-Andalus en el 970, convirtiéndose en médico personal de al-Ḥakam II (961-976) y de Hišām II (976-1009, 1010-1013)[3]. Tampoco sabemos nada acerca de la existencia de observatorios astronómicos que, con toda probabilidad, no existieron aunque sí se llevaron a cabo, como veremos, un número reducido de observaciones. La situación es radicalmente distinta en lo que respecta a las bibliotecas[4]. El interés que algunos de los emires sienten por los libros resulta definitivo a este respecto: ᶜAbd al-Raḥmān II, lector de obras de filosofía y de medicina, envía a ᶜAbbās b. Nāṣiḥ a Oriente para que le compre libros y la existencia de una biblioteca real está documentada en Córdoba desde el emirato de Muḥammad (852-886) y se desarrollará notablemente bajo ᶜAbd al-Raḥmān III (929-961) cuya fama como bibliófilo llega a Bizancio y motiva el envío del famoso códice griego de la *Materia Médica* de Dioscórides, del que hablaré más adelante (§ 2.6.1). Sus dos hijos Muḥammad y al-Ḥakam formarán importantes bibliotecas particulares y, al heredar el trono el segundo, unirá su biblioteca con la del Palacio. Las fuentes afirman que, en esta época, la biblioteca real contiene 400000 volúmenes e Ibn Ḥazm añade que el catálogo llenaba 44 volúmenes de 50 folios cada uno. Hourani[5] ha señalado el carácter exagerado de la cifra ya que el catálogo tendría, en total, 2200 folios, lo que implica la necesidad de que se escribieran 180 títulos por folio, una cifra claramente excesiva incluso si se cree que estaban escritos a doble columna. Por

[2] Sobre la enseñanza en al-Andalus cf. J. Ribera, «La enseñanza entre los musulmanes españoles», *Disertaciones y Opúsculos* I (Madrid, 1928), 229-359; Muḥammad ᶜAbd al-Ḥamīd ᶜĪsà, *Tārīj al-taᶜlīm fī-l-Andalus*, El Cairo, 1982.

[3] Vernet, «Médicos andaluces», E.H.C.M. pág. 486.

[4] J. Ribera, «Bibliófilos y bibliotecas en la España Musulmana», *Disertaciones y Opúsculos* I (Madrid, 1928), 181-228.

[5] G.F. Hourani, «The early growth of the secular sciences in Andalusia», *Studia Islamica* 32 (1970) pág. 149.

otra parte conviene señalar que 400000 volúmenes es una cifra tópica: es la que las fuentes árabes atribuyen a la Biblioteca de Alejandría y se habla también de la misma cifra (sólo de libros encuadernados, sin tener en cuenta opúsculos y cuadernos sueltos) en relación con una biblioteca privada de Almería. La afición por los libros continuó con Almanzor pese a ser este personaje el responsable, como veremos, de la destrucción de la biblioteca de al-Ḥakam II. Del mismo modo, un número importante de bibliotecas privadas aparecerá, durante los siglos X y XI en Córdoba, Sevilla, Almería, Badajoz, Toledo, Zaragoza etc.

El período en estudio abarca más de dos siglos durante los cuales se producirá un lento proceso de asimilación de una ciencia árabe de tradición indo-irania y helenística que, en Oriente, resulta madura y productiva a partir de mediados del siglo IX, mientras que, en al-Andalus, un estadio similar no se producirá hasta un siglo más tarde cuando aparezcan, en la segunda mitad del siglo X, figuras de la envergadura de un Maslama de Madrid -- en el campo de las ciencias exactas -- y de un Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (Abulcasis)-- en el de la medicina. La evolución de las ideas científicas resulta relativamente fácil de seguir a partir de este momento ya que se dispone de un cierto número de fuentes, pero el largo período anterior (821-c.950) es muchísimo más oscuro y sólo podemos intuir, de alguna manera, lo que sucede a través de datos mínimos que nos informan acerca de la introducción en al-Andalus de determinada obra científica: las tablas astronómicas del *Sindhind*, las de al-Battānī y el *Almagesto* de Ptolomeo constituyen excelentes ejemplos en los que insistiré. Pueden traerse a colación aquí otros: el tratado de medicina andalusí más antiguo que conservamos (*Kitāb ṭibb al-ᶜarab* o *Mujtaṣar fī-l-ṭibb*) se debe al alfaquí e historiador ᶜAbd al-Malik ibn Ḥabīb (m. 853)[6]. Esta obra puede, tal vez, constituir una reacción frente a la medicina de tradición latina a la que me he referido (§ 1.5) ya que se sitúa, en buena parte, en el marco de lo creencial («medicina del Profeta» y prácticas mágicas) pero tiene el evidente interés de ser el primer texto médico andalusí que docu-

[6] Ha sido objeto de dos ediciones recientes: la primera, fragmentaria, de M. ᶜA. al-Jaṭṭābī, *Al-ṭibb wa-l-aṭibbā' fī-l-Andalus al-islāmiyya. Dirāsa wa-tarāŷim wa-nuṣūṣ* vol. I (Beirut, 1988), 85-110; la segunda, completa y acompañada de traducción castellana, de C. Alvarez de Morales y F. Girón, *Ibn Ḥabīb (m. 238/853), Mujtaṣar fī-l-ṭibb (Compendio de Medicina)*, Madrid, 1992. Cf. también F. Girón y C. Alvarez de Morales, «La faceta médica del granadino ᶜAbd al-Malik ibn Ḥabīb (c. 790-847)», *Andalucía Islámica* 2-3 (1983), 125-137.

menta una tímida introducción de materiales hipocrático-galénicos que el autor parece conocer por tradición oral, posiblemente recogida durante su estancia en Oriente entre 823-24 y 826-27. Frente a Ibn Ḥabīb, la figura del médico oriental llamado al-Ḥarrānī, que ejerció en la corte de ᶜAbd al-Raḥmān II, se sitúa, probablemente, dentro de una corriente mucho más culta. Al-Ḥarrānī es, tal vez, el principal responsable del inicio del proceso de orientalización y helenización en el campo de la medicina. Ibn Ŷulŷul, que menciona a este personaje, nos habla también de sus nietos (?) Aḥmad y ᶜUmar b. Yūnus al-Ḥarrānī, que estudiaron en Bagdad entre 941 y 962 con Ṯābit b. Sinān b. Ṯābit b. Qurra que también era oriundo de Ḥarrān[7], lo cual implica un deseo de perpetuar la tradición cultural harrania y hace pensar en la posibilidad de que estos dos personajes hubiesen introducido en al-Andalus, a su regreso, la obra matemático-astronómica de Ṯābit b. Qurra (m. 901) y las técnicas de magia talismánica--características del mundo harranio -- que darían sus frutos en al-Andalus, en el siglo XI, en el célebre *Picatrix* (*Gāyat al-ḥakīm*, § 4.3.3). También en el siglo X, Ibn Ŷulŷul utilizará, como hemos visto (§ 1.5), fuentes latinas y árabes para redactar sus *Categorías de médicos* (*Ṭabaqāt al-aṭibbā'*) y, entre las últimas, se encuentra el *Kitāb al-ulūf* (*Libro de los miles*) del astrólogo oriental Abu Maᶜšar. Esta obra constituye una de las piezas clave del desarrollo de la llamada astrología mundial y pretende explicar la historia de la humanidad y predecir los grandes acontecimientos del futuro sobre la base de conjunciones planetarias y, especialmente, de conjunciones de Júpiter y Saturno que se producen cada veinte años aproximadamente[8]. El interés por este tipo de astrología aparece también en la introducción del *Liber Universus* de ᶜUmar b. Farrujān al-Ṭabarī que era conocido en Córdoba a fines del siglo X[9] y veremos, en este capítulo, cómo una conjunción de Saturno y Júpiter mueve a los astrólogos cordobeses a predecir el fin del califato y el inicio del período de guerras civiles. Durante el siglo X se introducirá, también, en al-Andalus la obra clásica de la alquimia denominada *Tabula*

[7] J. Vernet, «Los médicos andaluces», E.H.C.M., pp. 478-479 y 485-486.

[8] D. Pingree, *The Thousands of Abu Maᶜshar*, Londres, 1968.

[9] D. Pingree, «The "Liber Universus" of ᶜUmar ibn al-Farrukhān al-Ṭabarī». *Journal for the History of Arabic Science* 1 (1977), 8-12.

Smaragdina[10], Yaḥyà b. Isḥāq escribirá un manual de medicina en el que sintetizará toda la medicina griega conocida en su tiempo[11] e Ibn Ŷulŷul dará la lista de las dieciséis obras de Galeno que todo estudiante de medicina debe conocer necesariamente[12].

2.2 LOS ASTROLOGOS DE ᶜABD AL-RAḤMĀN II (821-852).

El emirato de ᶜAbd al-Raḥmān II constituye una etapa de efervescencia intelectual, en el que parece introducirse por vez primera el *muᶜtazilismo* y se producen una serie de movimientos heterodoxos que el emir ataja unas veces con dureza y otras con benevolencia[13]. Entre estos adquiere especial interés el inicio, en 850, de la cadena de martirios voluntarios cristianos en la que, sospecho, se combina un movimiento religioso con otro de resistencia cultural de los líderes mozárabes, asustados ante el proceso imparable, y combinado, de arabización e islamización de las poblaciones cristianas. Por otra parte, la personalidad misma del emir parece eminentemente contradictoria: pretende, por una parte, mantener su fama de hombre piadoso y aficionado al estudio; por otra se rodea de astrólogos y adivinos, considerados de dudosa ortodoxia. Así, recurre a los intérpretes de sueños (*ahl al-ᶜibāra*) acerca de la visión nocturna que ha tenido del Profeta muerto y amortajado en el lado de la alquibla de la mezquita aljama de Sevilla que acaba de construir[14]. Su interés por la astrología tiene su origen, tal vez, en los importantes acontecimientos astronómicos que se producen durante su reinado: el eclipse de sol del 17 de septiembre del 833, prácticamente total en Córdoba, que asustó a la población de la ciudad y la forzó a dirigirse a la mezquita aljama para la oración ritual del eclipse: Ibn al-Qūṭiyya

[10] S.M. Stern, «A letter of the Byzantine Emperor to the court of the Spanish Umayyad Caliph al-Ḥakam», *Al-Andalus* 26 (1961), 37-42.

[11] M. Meyerhof, «Esquisse d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les musulmans d'Espagne», *Al-Andalus* 3 (1935), 1-41 (cf. p. 6).

[12] Ibn Ŷulŷul, *Kitāb ṭabaqāt al-aṭibbā' wa-l-ḥukamā'*, ed. F. Sayyid, El Cairo, 1955, p. 42.

[13] M. I. Fierro, *La heterodoxia en al-Andalus durante el período omeya* (Madrid, 1987), 45-75.

[14] J. Ribera, *Historia de la conquista de España de Abenalcotía el Cordobés, seguida de fragmentos históricos de Abencotaiba, etc.* (Madrid, 1926) p. 66 (ár.) y 52 (trad.).

(m. 977) considera el suceso de una gran rareza y señala que ni antes ni hasta su tiempo se ha rezado en al-Andalus la oración del eclipse reuniéndose el pueblo en la mezquita[15]. Gran pánico produjo, asimismo, la visión de un cometa, probablemente el de Halley, durante casi cuarenta noches en el año 222/837[16]. Tuvo lugar, finalmente, una caída masiva de estrellas fugaces en el mes de *ŷumādà* II del 224/ 20 de Abril-18 de Mayo del 839[17].

Sea cual fuere la causa, lo cierto es que el panorama de la astronomía y de la astrología cambiará radicalmente durante su reinado. El anónimo magribí de fines del XIV o principios del XV afirma que ᶜAbd al-Raḥmān II fue el primero que introdujo tablas astronómicas en al-Andalus (*huwa awwal man adjala kutub al-zīŷāt*) así como libros de filosofía, música, medicina y astronomía[18]. En efecto, en esta época ᶜAbbās b. Firnās (m. 887) o ᶜAbbās b. Nāṣiḥ (m. después del 844) introducen una versión de las tablas del *Sindhind* que suele identificarse con la de al-Jwārizmī (fl. c. 830): es lo más probable, por más que tengo motivos para creer que circularon por al-Andalus otras versiones del *Sindhind* más fieles a la tradición india. Por otra parte es posible que el *al-daftar al-muḥkam* del que habla ᶜAbbās b. Firnās algo más tarde, en un poema dirigido al emir Muḥammad (852-886) fuese también unas tablas astronómicas (*zīŷ*): en cualquier caso se trata de un libro que había sido utilizado poco antes por Ibn al-Šamir, otro astrólogo, lo que constituye un indicio de que las tablas de esta índole debían ser mercancía rara en esta época en al-Andalus[19].

La astrología se pone de moda en la corte de Córdoba y el emir se rodea de una corte de astrólogos, muchos de los cuales son tam-

[15] Ribera, *Abenalcotía* pp. 65-66 (ár.) y 52 (trad.); Ibn Ḥayyān, *al-Muqtabas min anbā' ahl al-Andalus*. Ed. M. ᶜA. Makkī (Beirut, 1393/1973) p. 57; Ibn ᶜIḏārī, *Kitāb al-Bayān al-Mugrib* ed. G.S. Colin y E. Levi-Provençal II (Leiden, 1951), 83-84. De las tres fuentes sólo la última menciona el mes en que tuvo lugar el eclipse: fines de *ramaḍān* en lugar de *šawāl*, que es lo correcto.

[16] J. Vernet, «Algunos fenómenos astronómicos observados bajo los Omeyas españoles», *Revista del Instituto de Estudios Islámicos* 21 (1981-82), 23-30 (cf. p. 23). Reimpreso en AR1I2, 251-258.

[17] Ibn ᶜIḏārī II, 49.

[18] L. Molina, *Una descripción anónima de al-Andalus* (2 vols. Madrid, 1983) I, 138.

[19] Ibn Ḥayyān, *Muqtabas* ed. Makkī pp. 281-282; J. Vernet, «La maldición de Perfecto», E.H.C.M. pp. 233-234.

bién poetas, entre los que mencionaré a Marwān b. Gazwān, que predijo a ᶜAbd al-Raḥmān II la conquista de tres fortalezas, por lo que obtuvo mil dinares como recompensa por un vaticinio acertado[20]. Más interesante resulta la figura de Ibn al-Šamir[21], amigo íntimo del emir desde su infancia, a quien éste inscribió en una doble nómina (*dīwān*) -- la de los poetas y la de los astrólogos -- con lo que le asignaba una doble pensión oficial. Gracias a esta noticia, podemos constatar la existencia de un *dīwān* de astrólogos de corte pensionados, lo cual constituye un indicio claro del prestigio de la profesión en este momento. Una anécdota atribuida a Ibn al-Šamir nos lo presenta, en compañía del emir, en una sala de palacio provista de varias puertas. ᶜAbd al-Raḥmān II le pregunta, entonces, al astrólogo por qué puerta va a salir. Sin perder la seriedad, Ibn al-Šamir toma su astrolabio, levanta el horóscopo y escribe sus conclusiones en un pliego que cierra a continuación. Acto seguido, el emir hace entrar en la sala a unos obreros que abren una nueva puerta en la pared occidental de la misma, saliendo, luego, por ella. Cuando ᶜAbd al-Raḥmān II lee el folio escrito por Ibn al-Šamir, queda asombrado al descubrir que el astrólogo había descrito con precisión todo lo que iba a suceder. La anécdota no tendría más interés que el subrayar la perspicacia de Ibn al-Šamir a no ser porque Niẓāmī ᶜArūḍī Samarqandī la explica de forma casi idéntica, en su *Chahār Maqāla* acerca de al-Bīrūnī (973-1048) y Maḥmūd de Gazna, sin que se pueda ofrecer una explicación de la coincidencia.

La moda astrológica parece afectar a uno de los sectores considerados, tradicionalmente, como más conservadores: el de los alfaquíes. Así, sabemos que el alfaquí e historiador ᶜAbd al-Malik b. Ḥabīb -- al que hemos visto creando una fama de astrólogo para Mūsà b. Nuṣayr -- escribe un *Kitāb fī-l-nuŷūm* («Sobre las estrellas»)[22], aunque parece tratarse de un libro de *anwā'*. Mucho más curioso es el caso del poeta y cadí ᶜAbbās b. Nāṣiḥ del que sabemos que no dictaba una sentencia sin haber levantado, previamente el horóscopo correspondiente al caso objeto de litigio. Incluso en una

[20] M. Marín, *ᶜIlm al-nuǧūm e ᶜIlm al-ḥidṯān en al-Andalus. Actas del XII Congreso de la U.E.A.I.* (Madrid, 1986) pp. 510-511.

[21] E. Terés, «Ibn al-Šamir, poeta astrólogo de la corte de ᶜAbd al-Raḥmān II», *Al-Andalus* 24 (1959), 449-463.

[22] Ibn Ḥayyān, *Muqtabas* ed. Makkī p. 48. Se conserva, por lo menos, un manuscrito de esta obra en una biblioteca de Marruecos: cf. Sezgin, *G.A.S.* VII, 346 y 374.

determinada ocasión utilizó la astrología para descubrir el paradero de un buey perdido evitando, de este modo, la condena de un inocente, acusado del robo del animal[23]. Sabemos que este personaje llevó a cabo tres viajes a Oriente, y que el tercero de estos viajes lo realizó por encargo del emir con el fin de adquirir libros científicos entre los que se encontraría, tal vez, el *Sindhind* del que he hablado: lo curioso es que hizo este tercer viaje en compañía de otros personajes entre los que se contaba el pseudo-profeta Yūnus al-Bargawātī de quien se dice que estudió astrología en Oriente y la practicó, más tarde, entre los miembros de la tribu bereber de los Bargawāta, convirtiéndose, en lo sucesivo, los miembros de esta tribu en sabios astrólogos muy hábiles en la predicción de acontecimientos futuros[24].

Un tercer poeta-astrólogo es Yaḥyà al-Gazāl (773-864), personaje interesantísimo por varios conceptos. Emprendió dos viajes a Oriente, en uno de los cuales (840) estuvo en Bizancio como embajador de ᶜAbd al-Raḥmān II. A su regreso logró sacar subrepticiamente semillas de una nueva variedad de higuera que fueron sembradas en Córdoba logrando que dieran fruto. Los higos fueron presentados al emir, a quien se informó de la estratagema utilizada por al-Gazāl y se mostró interesado por la experiencia[25]: nos hallamos, pues ante un ensayo de aclimatación de nuevas especies vegetales similar al que se llevó a cabo en Córdoba en tiempos de ᶜAbd al-Raḥmān I (cf. § 1.2). La embajada de al-Gazāl a Bizancio parece haber tenido connotaciones similares al espionaje industrial moderno y Vernet[26] sospecha que este personaje pudo haber conocido allí la industria de la seda ya que, poco después, aparecen las primeras menciones de la misma en España, mucho antes que en el resto de Europa. Pero me interesa subrayar aquí que al-Gazāl es, tal vez, el autor del horóscopo anda-

[23] E. Terés, «ᶜAbbās ibn Nāṣiḥ, poeta y qāḍī de Algeciras», *Etudes d'Orientalisme dédiées à la mémoire de Levi-Provençal* I (París, 1962), 339-358.

[24] Terés, «ᶜAbbās ibn Nāṣiḥ», 348-349; Fierro, *Heterodoxia* pp. 45-48; Ibn ᶜIḏārī, *Bayān* I, 225; Mac Guckin de Slane, *Description de l'Afrique Septentrionale par Abou-Obeïd-el Bekri*, París, 1965 [= Argel, 1911-1913] pp. 137-138 y 140 (ár.) y 264-265 y 268 (trad. francesa).

[25] E. García Gómez, «Sobre agricultura arábigoandaluza. Cuestiones bibliográficas», *Al-Andalus* 10 (1945), 134.

[26] J. Vernet, *La cultura hispanoárabe en Oriente y Occidente*, Barcelona, 1978, p. 31.

lusí más antiguo conservado: un poema que reproduce Ibn Ḥayyān[27] en el que anuncia la muerte del todopoderoso eunuco Naṣr[28]. Este murió, efectivamente, «inmediatamente después de [haber concluido el] mes de *šaᶜbān* del año» 236 H., habiendo sido obligado por el emir a ingerir un veneno que Naṣr pretendía administrar a ᶜAbd al-Raḥmān II. El 29 de *šaᶜbān* del 236 H. corresponde al 7 de marzo del 851 y Vernet relaciona el pronóstico astrológico de al-Gazāl con la maldición lanzada contra Naṣr por el protomártir voluntario Perfecto, ejecutado el 18 de abril del 850, quien anunció que la muerte del eunuco tendría lugar en el plazo de un año: Perfecto habría tenido noticias del poema de al-Gazāl, que circularía de boca en boca, y -- en un ambiente en el que se creía firmemente en la astrología -- habría aprovechado la coyuntura para hacer creer que la muerte de Naṣr sería, en cierto modo un castigo divino por su martirio. El poema de al-Gazāl señala que Saturno está en la mansión de *al-Naṯḥ* (o sea a unos 20° de longitud) y esto coincide con lo que podemos calcular con las tablas de al-Jwārizmī para el 8 de Marzo del 851 fecha en la que Saturno estaba a 22°. Afirma, asimismo, que está o ha estado retrogradando y puede comprobarse, con las mencionadas tablas, que ha retrogradado a lo largo de un arco de 6;21° entre el 8 de Agosto y el 19 de Diciembre del 850. Finalmente, al-Gazāl hace coincidir el desenlace (muerte de Naṣr) con la luna llena (*badr*) en la mansión de *al-Bulaᶜ* o sea a unos 300° de longitud: si se trata realmente de una luna llena, la condición no se cumplirá hasta el 17 de Julio de 851, siempre según las tablas de al-Jwārizmī. Cabe suponer, pues, que la muerte de Naṣr tuvo lugar más de cuatro meses antes de lo previsto y que el acontecimiento debió sorprender a al-Gazāl[29].

La figura más interesante, no obstante, dentro del círculo de poetas-astrólogos que rodea a ᶜAbd al-Raḥmān II es, sin duda, ᶜAbbās ibn Firnās (m. 887) con el que, en cierto modo, puede considerarse que la ciencia y la tecnología andalusí empieza a mostrarse productiva pese a que no se trate de un auténtico hombre de ciencia

[27] Vernet, «La maldición de Perfecto», E.H.C.M., 233-234; Ibn Ḥayyān, *Muqtabis* ed. Makkī, pp. 11-12.

[28] Sobre este personaje cf. J. Vallvé, «Naṣr, el valido de ᶜAbd al-Raḥmān II», *Al-Qanṭara* 6 (1985), 179-197.

[29] J. Samsó, «Algunas precisiones en torno al horóscopo de Yaḥyà al-Gazāl sobre la muerte del eunuco Naṣr (Marzo del 851)». *Miscel.lània en homenatge al P. Agustí Altisent*, Tarragona, 1991, pp. 267-269.

sino, más bien de un cortesano, dotado de una curiosidad enciclopédica, que sabe aprovechar muy bien sus conocimientos. Terés[30] lo califica de músico, filósofo, poeta, astrólogo, alquimista y adepto a la magia blanca y a la prestidigitación. Realizó un ensayo de vuelo en la Ruzafa cordobesa, utilizando unas alas cubiertas de plumas, pero dio con sus huesos en el suelo al cabo de unos pocos metros: su intentona hace pensar en ensayos semejantes realizados en Inglaterra en el siglo XI por el monje Eilmer de Malmesbury[31] y, por otra parte, el relato debió ser bien conocido y divulgado y llega hasta el siglo XVII en que Agustín de Rojas (1572- c. 1618) compone una loa en la que evoca un suceso muy similar cuyo protagonista es un labriego valenciano[32]. Las referencias de las fuentes árabes a las aportaciones de Ibn Firnās sobre las técnicas de fabricación del cristal han sido interpretadas por Vernet[33] como la introducción, por este personaje, en el Occidente Islámico de la talla del cristal de roca. Tanto el vidrio como el cristal debían ser escasos en al-Andalus en esta época ya que, más de un siglo más tarde, el famoso cirujano Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (§ 2.6.2) utiliza instrumental de vidrio en un tratado sobre los *aḏhān* (aceites) pero señala, en un determinado pasaje, una técnica alternativa, que no requiere recipientes de este material, utilizables «si te encuentras en un lugar en el que no haya vidrio»[34]. Otro de los «inventos» de Ibn Firnās fue instalar, en su casa, una representación del firmamento, con estrellas, nubes, rayos y truenos, lo que dio lugar a unos versos escatológicos de su gran enemigo el poeta satírico Mu'min b. Sa^{c}īd (m. 880)[35]. Resulta difícil de creer que tal representación tuviera carácter científico alguno o fuera un antecedente de los planetarios modernos: la referencia de las fuentes a las nubes, rayos y truenos

[30] E. Terés, «^{c}Abbās ibn Firnās». *Al-Andalus* 25 (1960), 239-249.

[31] L. White, «Eilmer of Malmesbury, an eleventh century aviator. A case study of technological innovation, its context and tradition», *Technology and Culture* 2 (1961), 97-111.

[32] E. Terés, «Sobre el "vuelo" de ^{c}Abbās ibn Firnās», *Al- Andalus* 29 (1964), 365-369.

[33] J. Vernet, «^{c}Abbās ibn Firnās», D.S.B. I (New York, 1970), 5.

[34] S.Kh. Hamarneh y G. Sonnedecker, *A pharmaceutical view of Abulcasis (al-Zahrāwī) in Moorish Spain, with special reference to the "Aḏhān"*, Leiden, 1963, Pp. 81 y 99.

[35] Maqqarī, *Nafḥ* III, pp. 374-375.

hace más bien pensar en una habitación preparada para asombrar a los visitantes, en la que podían utilizarse trucos similares a los que empleaba, casi un siglo más tarde, ᶜAbd al-Raḥmān III con el célebre estanque de mercurio del Palacio de Medina Azara[36], con el que se creaban unos prodigiosos juegos de luces.

Más interesante desde el punto de vista científico es que Ibn Firnās construyera, para el emir ᶜAbd al-Raḥmān II, una esfera armilar: se trata de la primera referencia conocida, en al-Andalus, a este instrumento. La siguiente alusión a la esfera armilar en el Occidente Islámico es un siglo posterior: el tratado escrito por el judío tunecino Dunas ibn Tamīm[37], personaje que mantuvo correspondencia con Ḥasdāy b. Šaprūṭ, médico judío de ᶜAbd al-Raḥmān III. Por último, conviene señalar que Ibn Firnās parece haber sido asimismo el origen de una escuela mecánica andalusí (que se desarrollaría, más tarde, en el siglo XI), ya que, según nos refiere Ibn Ḥayyān[38] «inventaba objetos curiosos y dignos de reyes, artilugios maravillosos y que causaban asombro, con bellas figuras y movimientos fantásticos por sus cambios de color y por hacer vaciar las aguas de las albercas y de otros lugares. Para erigir sus estatuas en el palacio y cuidar de su estructura mecánica, pidió ayuda a Aṣbag, maestro de los carpinteros, a quien enseñó cómo actuar [...] según las técnicas de su arte». Entre estos artilugios debía encontrarse el reloj que diseñó con el fin de regalárselo al emir Muḥammad (852-886). El reloj iba acompañado de unos versos en los que se indicaba que el instrumento permitía conocer las horas de las oraciones canónicas cuando no hubiera sol ni estrellas que pudieran servir de guía. Si, como parece probable, las referencias a albercas que se llenan y se vacían y a autómatas que se mueven están relacionadas con este reloj, nos encontramos con una clepsidra provista de autómatas, la primera de la que se tiene noticias en al-Andalus. No obstante, no es esta la única referencia a relojes con la que nos encontramos durante el reinado de ᶜAbd al-Raḥmān II: Yaḥyà b. Ḥabīb, el compañero de al-Gazāl en su viaje a Bizancio en el 840, era apodado *ṣāḥib al-munay-*

[36] Cf. M. J. Rubiera, *La arquitectura en la literatura árabe. Datos para una estética del placer*, Madrid, 1981, pp. 85-86.

[37] S.M. Stern, «A treatise on the armillary sphere by Dunas ibn Tamīm». *Homenaje a Millás-Vallicrosa* II (Barcelona, 1956), 373-377.

[38] Ibn Ḥayyān, *Muqtabas* ed. Makkī pp. 282-284. Cf. sobre toda esta cuestión J. Vernet, «Mármol, obra de Zarquel», *Hommage à Georges Vajda* (Lovaina, 1980), 151-154. Reimpresión en AR1I2, 297-300.

qila, «el hombre del relojito», lo que es interpretado por Levi-Provençal como una alusión a una clepsidra (?)[39]. Más de un siglo más tarde aparecerá, en el manuscrito 225 de Ripoll, la descripción de un instrumento de esta índole, con pesas y carillón que, posiblemente, no tenga relación alguna con la tradición árabe y derive de la romana tardía del reloj anafórico[40].

2.3 UNA NOTA SOBRE DOS NOVEDADES TECNOLOGICAS APARECIDAS DURANTE LOS EMIRATOS DE ᶜABD AL-RAḤMĀN II (821- 852) Y MUḤAMMAD (852-886).

En el apartado anterior hemos podido señalar ciertas novedades que aparecen, en el terreno de la tecnología, relacionadas con la figura de ᶜAbbās b. Firnās o con la de Yaḥyà al-Gazāl. Podemos añadir aquí otras dos: la del «fuego griego» (*naft*) y la de la técnica de captación de aguas mediante los llamados *qanāt*.

En lo que respecta a la primera, su descubrimiento se debe, probablemente, a los bizantinos y debió realizarse en el siglo VII[41]: como señala Vernet, se trata de mezclas de cuerpos que eran capaces de arder en las circunstancias más insólitas, se proyectaban contra el enemigo mediante tubos que constituían una especie de lanzallamas, y podían arder incluso en contacto con el agua. En el siglo X, el *naft* fue utilizado por la flota fatimí contra los propios bizantinos[42] pero la primera mención que conozco de este producto en el Occidente Islámico remonta al año 844 en el que se produjo el primer ataque de los normandos (*maŷūs*) contra Sevilla: las dificultades que se tuvieron para rechazarlos movió a ᶜAbd al-Raḥmān II a establecer unas atarazanas en esta capital y a organizar una flota provista de *naft* y de «instrumentos» (*ālāt*), palabra utilizada por Ibn

[39] E. Levi Provençal, «España Musulmana hasta la caída del Califato de Córdoba», en *Historia de España* dirigida por R. Menéndez Pidal IV (Madrid, 1957), 162.

[40] F. Maddison, B. Scott y A. Kent, «An Early Medieval Water-clock». *Antiquarian Horology* 3 (1962), 348-353. La clepsidra de Ripoll ha sido reconstruida por E. Farré: cf. E. Farré/ C. Segura, *24 Rellotges i altres instruments per a la mesura del temps* (Barcelona, 1989), 14-16; E. Farré, «A Medieval Catalan Clepsydra and Carillon», *Antiquarian Horology* 18 (1989), 371-380.

[41] Vernet, *Cultura hispanoárabe* p. 230.

[42] M. Yalaoui, *Un poète chiite d'Occident au IVème/Xème siècle: Ibn Hânî' al-Andalusî* (Tunez, 1976) pp. 163-168.

al-Qūṭiyya probablemente para designar los «tubos lanzallamas» a los que he aludido antes. Cuando diez años más tarde, en el año 858, los normandos repitieron su intentona, la flota omeya logró quemar algunos de sus barcos y poner en fuga a los restantes[43].

La segunda novedad es anterior, como veremos, a esta época, aunque sea en ella cuando parece alcanzar una gran difusión. En efecto, de acuerdo con el testimonio de Ibn Ḥayyān, es el emir Muḥammad quien funda la fortaleza de Madrid, formando parte de un conjunto de defensas situadas en la frontera de Toledo[44]. Con el fin de proveer de agua a la fortaleza, la habría dotado de un sistema de *qanāt* (galerías de drenaje que permiten captar agua de la capa freática y conducirla, mediante pendientes suaves, hasta aflorar a la superficie). Estos *qanāt* habrían recibido, también, el nombre de *maŷrà* y este término, unido al sufijo abundancial latino *-etum/-et* > ár. *-īṭ* habría dado lugar, según Oliver Asín, al nombre árabe de Madrid : *Maŷrīṭ* < *maŷrà* + *īṭ*, que designaría así un lugar en el que abundaban los *qanāt*. El término latino correspondiente habría sido *matrice* (arroyo madre) y sería, por su parte, el étimo del topónimo romance *Madrid*[45]. Aceptemos o no la hipótesis de Oliver Asín, resulta sugestivo relacionar la etimología del topónimo con el sistema de captación de aguas mediante los *qanāt*, ya que éstos, denominados «viajes» en la época moderna, constituyeron el único sistema de aprovisionamiento de aguas de la ciudad hasta el siglo XIX.

La existencia de *qanāt* en al-Andalus bajo el emirato de Muḥammad parece clara no sólo por la fundación de Madrid sino sobre todo por el texto más antiguo que conozco que alude, de forma inequívoca e indiscutible, a esta técnica de captación de aguas. Se trata de un pasaje del *Muqtabas* de Ibn Ḥayyān en el que se describe el asedio de Qal^{c}at al-Ḥanaš (Alanje, Badajoz), defendida por el rebelde muladí

[43] Ibn al-Qūṭiyya ed. Ribera pp. 66-67 (ár.) y 53 (trad.); Ibn Ḥayyān, *Muqtabas* ed. Makkī p. 309.

[44] M. ^{c}A. Makkī, *Madrid al-^{c}arabiyya* (El Cairo, s.d.) p. 20.

[45] J. Oliver Asín, *Historia del nombre «Madrid»*, Madrid, 1959. Recientemente, F. Corriente («El nombre de Madrid» en *Madrid del siglo IX al XI*, Madrid, 1990, pp. 87-91) deriva Maŷrīṭ directamente de *matrice* y M. ^{c}A. Makkī señala que el término *maŷrà* no parece haber tenido, en al-Andalus, el valor de «conducto subterráneo de agua» sino el más común de «cauce». Cf. «El léxico hispanoárabe referente al agua y a su uso en la España Musulmana». Resúmenes de las Ponencias y Comunicaciones presentadas al Simposio Internacional *La fundación de Madrid y el agua en el urbanismo islámico y mediterráneo* (Madrid, 22/26 de octubre de 1990), pp. 18-19.

ᶜAbd al-Raḥmān al-Ŷillīqī, por el emir Muḥammad en el 260/873-874. Las tropas de éste intentaron rendir la ciudad por sed y los sitiados trataron de captar agua construyendo un *qanāt*. Las palabras de Ibn Ḥayyān resultan suficientemente descriptivas: «[Los sitiados] construyeron muros en torno a los pozos que les protegieran de los proyectiles y sobre ellos colocaron pesadas planchas de madera recubiertas de pieles de vaca. En el fondo de los pozos excavaron galerías para captar agua. Frecuentemente pasaban de un pozo al otro, circulando por aquellas galerías, mientras los manjaneques creaban permanentes situaciones de peligro al arrojar proyectiles de día y de noche»[46]. Los pozos mencionados repetidamente por el texto suelen ser la característica externa más visible de un *qanāt*: se trata de pozos de ventilación cuya principal función es permitir la extracción de materiales durante la construcción del mismo.

Las menciones de los *qanāt* en las fuentes árabes no terminan, evidentemente, con el texto de Ibn Ḥayyān antes aludido pero deben, en general, ser consideradas críticamente ya que el término puede, asimismo, designar un «canal» de conducción de aguas que no tenga relación alguna con la técnica de captación a la que me estoy refiriendo. De esta forma, el anónimo magribí editado por Molina asimila a los *qanāt* unas canalizaciones que aparecen en su descripción del acueducto de Mérida[47] y a las conducciones que llevaban agua desde la Península hasta la isla de Cádiz[48]. Lo mismo hace Ibn ᶜIḏārī al hablar de la canalización construida por al-Ḥakam II en el año 356/967 para llevar agua desde una fuente situada en la serranía de Córdoba hasta la mezquita aljama de la capital[49]. Pese a estas precauciones, parece muy probable que tengamos una referencia específica a un *qanāt* en un pasaje del *Ajbār Maŷmūᶜa* referido al año 136/753-754 en el que se nos menciona un jardín situado al oeste de Córdoba denominado *qanāt ᶜĀmir* por el nombre de su propietario, un notable yemení enfrentado con el emir Yūsuf al-Fihrī: el pasaje

[46] Ibn Ḥayyān, *Muqtabas* ed. Makkī pp. 351 y 636.

[47] Molina, *Descripción* I, 57.

[48] Molina, *Descripción* I, 65-66; cf. también Maqqarī, *Nafḥ* ed. I. ᶜAbbās I, 202-203 (aunque aquí no se utiliza el término *qanāt*).

[49] Ibn ᶜIḏārī al-Marrākušī, *al-Bayān al-Mugrib* ed. E. Levi-Provençal (París, 1930) II, 240.

señala que ᶜĀmir construyó una *jaṭṭāra*[50], otro término usual para designar este sistema de drenaje de aguas[51]. Esto nos lleva a la sugestiva hipótesis de Vernet[52] quien interpreta como un *qanāt* la descripción que hace al-Maqqarī del sistema de abastecimiento de aguas de la llamada «Iglesia de los Quemados» de Córdoba, en la que se refugiaron unos cuatrocientos cristianos junto con el gobernador visigodo de la ciudad en el momento de la conquista por los musulmanes dirigidos por Mugīṯ. El texto[53] es discutible y puede tanto tratarse de un *qanāt* como de una canalización de agua desde una fuente situada en la serranía pero la hipótesis de Vernet resulta demasiado atractiva, sobre todo si la relacionamos con la referencia, casi contemporánea, al *qanāt ᶜĀmir* que acabo de mencionar. Todo ello apunta a la posibilidad de que la técnica de los *qanāt* fuera conocida en al-Andalus antes de la llegada de los musulmanes[54], algo muy posible si se tiene en cuenta el estudio que ha realizado Goblot[55] acerca de su difusión: se trata de una técnica esencialmente minera, ya que aplica al problema de la captación de aguas los mismos procedimientos que son habituales en la extracción de los minerales. Su origen se encuentra en el Irán, donde es conocida al menos desde el siglo VIII a. de C., y desde allí se introdujo en la Península Arábiga y en Egipto. En este último país la aprendieron los romanos los cuales introdujeron algunas mejoras que fueron asimiladas por los artesanos sirios. En épocas distintas los *qanāt* aparecen en diferentes países del Mediterráneo tanto oriental como occidental, en algunos de los cuales la difusión de la técnica se debe a la expansión musulmana pero, en otros (Túnez y Argelia, por ejemplo), los *qanāt* eran ya conocidos en época romana. Es, pues, posible que en el caso

[50] Sigo la interpretación de M. Barceló, «Qanāt(s) a al-Andalus», *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 2 (1983), 3-22 (cf. especialmente p. 8). En el texto árabe se lee *ḥaẓr* (cercado) que puede muy fácilmente confundirse con *jaṭr*: la asociación *qanāt/jaṭṭāra* resulta demasiado tentadora para rechazarla.

[51] *Ajbār Maŷmūᶜa* ed. y trad. E. Lafuente (Madrid, 1867) pp. 63 (ár.) y 68 (trad.); ed. I. al-Abyārī (Beirut, 1981), p. 63.

[52] J. Vernet, «Una nota sobre hidráulica», *Philologica Hispaniensia in honorem Manuel Alvar* II (Madrid, 1985), 637-639. Reimpresión en AR II2, 247-249.

[53] Maqqarī, *Nafḥ* ed. I. ᶜAbbās I, 262-263.

[54] Esta es la opinión de B. Pavón en el reciente *Tratado de arquitectura hispanomusulmana. I. Agua* (Madrid, 1990), 185-217.

[55] H. Goblot, *Les Qanats. Une technique d'acquisition de l'eau.* París-La Haya-Nueva York, 1979.

de al-Andalus se haya producido una confluencia de una técnica romana con otra introducida por los musulmanes en los años que siguieron a la conquista.

2.4 EL DESARROLLO DEL «MĪQĀT».

2.4.1 EL PROBLEMA DE LA ORIENTACION DEL MIḤRĀB[56].

Vimos en el capítulo primero (§ 1.3), a propósito de las leyendas sobre la conquista, que éstas parecen atribuir a los primeros invasores ciertos conocimientos relacionados con el *mīqāt*, astronomía relacionada con el culto islámico. Por otra parte, la clepsidra regalada por ᶜAbbās b. Firnās al emir Muḥammad parece tener como principal aplicación el determinar las horas de la oración cuando las condiciones metereológicas no permiten observar el sol ni las estrellas. Todo ello no constituye más que una serie de alusiones marginales pero, al llegar a la segunda mitad del siglo IX nos encontramos en un terreno más seguro con la figura del alfaquí y tradicionista Abū ᶜUbayda Muslim b. Aḥmad al-Layṯī (m. 907) al que el cadí Ṣāᶜid de Toledo[57] atribuye conocimientos en materia de astronomía y astrología. Por otra parte, este personaje recibía el mote de *ṣāḥib al-qibla* («el de la alquibla») porque tendía a dirigirse hacia Oriente al hacer la oración[58]. La interpretación de este pasaje adquiere sentido si tenemos en cuenta el problema de la orientación del *miḥrāb* en las mezquitas andalusíes y, muy especialmente, en la mezquita aljama de Córdoba. Recordemos brevemente que esta última se construyó en el lugar ocupado por la iglesia cristiana de Šant Binŷant (¿S. Vicente?) lo que pudo determinar la orientación general del edificio, así como la del muro de la alquibla que parece estar apun-

[56] Buena parte de este apartado ha sido ya publicado en J. Samsó, «En torno al problema de la determinación del acimut de la alquibla en al-Andalus en los siglos VIII y IX. Estado de la cuestión e hipótesis de trabajo», *Homenaje a Manuel Ocaña Jiménez* (Córdoba, 1990), 207-212.

[57] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* tr. Blachère pp. 123-124; ed. Ḥayāt Bū ᶜAlwān pp. 159-161.

[58] Sigo aquí la corrección del último editor, Bū ᶜAlwān, quien lee aquí *yušarriqu* (ir hacia Oriente) en vez de *yusrifu* (excederse, exagerar) que es lo que aparece en algún manuscrito. Esta última lectura es la que traducen tanto Blachère como M. Marín (ᶜ*Ilm al-nuǧūm* pág. 511). Esta última autora señala, por otra parte, que, según Ibn ᶜAbd al-Barr, Abū ᶜUbayda estaba obsesionado con la orientación hacia el este de la alquibla, lo que se ajusta a la lectura de Bū ᶜAlwān.

tar exageradamente hacia el sur[59]. Por otra parte, tal como hemos visto, las fuentes árabes atribuyen a Ḥanaš al-Ṣanᶜānī y a otros *tābiᶜíes* la construcción de los *miḥrāb*s de las mezquitas de Córdoba y de Zaragoza. Sean cuales fueren los responsables de la orientación del *miḥrāb* cordobés, no cabe duda de que no utilizaron métodos astronómicos para determinar el valor del acimut de la alquibla ya que tales métodos -- aproximados o exactos -- no se desarrollaron, en Oriente, hasta el siglo IX[60]. Junto a la astronomía científica surgió una astronomía popular que trataba de determinar la orientación de la alquibla por métodos tradicionales y que está documentada en textos jurídicos, manuales de astrometeorología (*kutub al-anwā'*) y en tratados en los que se exponía una «geografía sagrada» que consideraba La Meca como centro del mundo. Este tipo de fuentes dan indicaciones para determinar la dirección de la alquibla (*dalā'il al-qibla*) recurriendo a fenómenos astronómicos visibles en el horizonte o a direcciones de los vientos. Algunas de estas señales o

[59] No disponemos de una determinación precisa de la orientación del *miḥrāb* en la mezquita de Córdoba pero los valores que aparecen en la bibliografía se sitúan, en su mayoría, entre 20° y 30° al E del S: las plantas que levanta L. Torres Balbás («Arte hispanomusulmán hasta la caída del Califato de Córdoba» en *Historia de España* dirigida por R. Menéndez Pidal, V, Madrid, 1957, pp. 344, 391, 478 y 572) nos presentan una alquibla situada entre 20° y 25° al W del S (en lugar de al E del S). Por otra parte K.A.C. Cresswell (*Early Muslim Architecture* II [Oxford, 1940], 145-146) afirma que la orientación de la mezquita es exactamente N-S. Para Elie Lambert (*apud* M. Philibert, *La Qibla et le Mih'râb. Différences constatées dans la direction des mosquées maghrébines. Raisons possibles. Orientation par des procedés modernes*. Ciclostilado. Argel, 1972, p. 57) el *miḥrāb* de Córdoba está orientado a 26° al E del S. Finalmente D.A. King («Makka» en *Encyclopédie de l'Islam* 2ª ed. VI [Leiden-París, 1987], p. 169) sostiene que la orientación es de 30° al E del S. Estos dos últimos valores son, probablemente, los más próximos a la realidad por más que no sepa exactamente cómo se han establecido (el uso de una brújula resulta de lo más impreciso no sólo debido a la declinación magnética sino, sobre todo, porque el tendido eléctrico omnipresente en una ciudad puede alterar notablemente el resultado). Durante una visita a Granada, en 1989, Antonio Almagro me informó -- utilizando un detallado plano de Córdoba en el que aparece indicado el norte astronómico -- de que la orientación del muro de la alquibla es de 27.6° con un error probable de 1°. Estos últimos valores tienen, por otra parte, la ventaja de coincidir con el dato que nos proporciona, en época almorávide o almohade, Ibn al-Naṭṭāḥ (§ 5.2.1) en su tratado de astrolabio, quien afirma que la mezquita aljama de Córdoba está orientada a 60° al Sur del Este: cf. D.A. King, «Three sundials in Islamic Andalusia», *Journal for the History of Arabic Science* 2 (1978), 390.

[60] D.A. King, «Ḳibla», *Encyclopédie de l'Islam* 2ª ed. V (Leiden-París, 1979), 85-91; «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 3 (1986), 82-149.

dalā'il están documentadas en al-Andalus como sucede con la regla que aparece en el tratado de astrometeorología de Ibn ᶜĀṣim (m. 1012-1013)[61], que establece que «si sitúas el polo [norte] sobre tu hombro izquierdo y te enfrentas al sur, tu mirada se dirigirá hacia la alquibla». La misma regla reaparecerá hacia fines del siglo XII en otro *Kitāb al-anwā'* debido a Abū ᶜAlī al-Ḥasan b. Jalaf al-Umawī[62]. Esta regla, confusa tal como la he expuesto pero que parece apuntar a una alquibla dirigida al sur, es posiblemente una deformación de la que expone, para al-Andalus, el Magrib, Ifrīqiya y Etiopía, el sabio yemení Ibn Surāqa (m. 1019) -- uno de los principales tratadistas de la «geografía sagrada»--: la formulación de este autor[63] se basa en los vientos: el del Norte debe soplar sobre el hombro izquierdo, el del Sur sobre el derecho, el del Este por delante y el del Oeste por detrás. Ahora bien, si tenemos en cuenta que, pese a sus nombres, los vientos citados no coinciden con los puntos cardinales sino que están situados en puntos intermedios, tendremos que el rostro estará dirigido hacia el viento *ṣabā'* o *qabūl* que sopla desde un punto situado al N del E que coincide, aproximadamente, con el acimut del orto del sol en el día del solsticio de verano en La Meca[64]. La regla resulta, pues, claramente inaplicable a al-Andalus y no es de extrañar que se deformara ya que la tradición local, representada por Ibn Jalaf al-Murādī -- autor de un tratado de mecánica del que tendremos ocasión de hablar en § 4.2 --, da otro indicio contradictorio con el anterior al señalar que la alquibla, en Córdoba, coincide con el acimut del orto del sol en el solsticio de invierno: King ha calculado que este acimut es del orden de 30° al S del E lo que coincide con el valor que da el astrónomo Ibn al-Ṣaffār para la alquibla cordobesa en su tratado sobre el astrolabio[65]. Una cifra del mismo orden se obtendrá si se aplica la regla formulada por el alfaquí e historiador

[61] No está claro si Ibn ᶜĀṣim es el autor de esta obra o bien se limitó a escribir un resumen de un libro anterior debido a un tal Muḥammad b. Aḥmad b. Sulaymān al-Tuǧībī. Un facsímil del manuscrito único ha sido publicado recientemente. Cf. Ibn ᶜĀṣim, *Kitāb al-anwā' wa-l-azmina wa-maᶜrifat aᶜyān al-kawākib* (Institute for the History of Arabic Science. Frankfurt, 1985) p. 115.

[62] D.A. King, «Three Sundials» pp. 370-390 sobre la determinación de la alquibla en Córdoba).

[63] King, «Makka» en E.I. VI, 168.

[64] D.A. King, «Astronomical Alignments in Medieval Islamic Religious Architecture», *Annals of the New York Academy of Sciences* (1982), 303-312.

[65] King, «Three Sundials» pp. 371, 388-389.

del siglo IX Ibn Ḥabīb, ya mencionado, quien afirma que la alquibla en Córdoba coincide con el orto de *Qalb al-ᶜAqrab* (Antares, *α Scorpii*)[66].

Las reglas tradicionales conocidas no nos explican, pues, la anómala orientación meridional del *miḥrāb* cordobés y una hipótesis muy sugestiva ha sido expuesta en los últimos años por D. King[67]. El eje de la mezquita de Córdoba sería «paralelo» al eje mayor de la Kaᶜba, edificio orientado astronómicamente de tal modo que su eje mayor se dirige hacia el orto de la estrella Suhayl (Canopo, *α* de Argos) en La Meca y al punto local del orto del sol en el solsticio de invierno. De este modo el muro de la alquibla cordobesa resultaría, asimismo, «paralelo» a la pared noroccidental de la Kaᶜba. Esta explicación, que para King se extiende a otras muchas mezquitas de orientación anómala, resulta coherente con una geografía sagrada que atribuye a cada nación musulmana un ángulo o lado de la Kaᶜba a la que debe orientarse para realizar la oración. Para King, los constructores de las primeras mezquitas de al-Andalus (y de otros lugares remotos) no podían conocer la dirección de La Meca pero sabían que la Kaᶜba estaba orientada de determinada manera y que, al dirigirse a una pared o ángulo de aquel edificio, se dirigían también a un determinado punto del horizonte que coincidía con el lugar del orto o del ocaso de una estrella, o del sol en una fecha determinada. Es lógico, pues, que supusieran que la dirección astronómica válida en La Meca seguía siendo también válida al alejarse de la ciudad centro del Islam. Pese a la lógica de la explicación queda por establecer cuál es la regla que utilizaron los constructores cordobeses para obtener un acimut de la alquibla del orden de unos 30º al E del S. Hemos visto ya que utilizando el orto del sol en el solsticio de invierno se obtienen unos 30º al S del E y, por otra parte, el orto de Suhayl resulta inaplicable en al-Andalus ya que esta estrella sólo era visible en Córdoba en el siglo VIII en condiciones excepcionales y su orto se produciría a muy escasa distancia del punto Sur del horizonte. Los tratadistas andalusíes se mostraban excepcionalmente interesados por el problema de la visibilidad de Suhayl desde al-Andalus, sin duda debido a su uso tradicional para orientar mezquitas: Ibn

[66] H.P.J. Renaud, «Astronomie et astrologie marocaines», *Hespéris* 19 (1942), 58.

[67] D.A. King, «Makka» en E.I. y «Astronomical Alignments» antes citados; cf. también G.S. Hawkins y D.A. King, «On the Orientation of the Kaᶜba», *Journal for the History of Astronomy* 13 (1982), 102-109.

ᶜĀṣim, por ejemplo, señala que, según algunos, Suhayl era visible desde las costas de Málaga, situadas al sur de Córdoba, por lo que las condiciones de visibilidad mejoraban ligeramente[68].

Es posible, por otra parte, que, en la segunda mitad del siglo IX, fueran ya conocidos en al-Andalus algunos métodos propiamente astronómicos para determinar el acimut de la alquibla: la mención, por Ṣāᶜid de Toledo, de un Abū ᶜUbayda *ṣāḥib al-qibla*, que tendía a dirigirse hacia Oriente para hacer la oración, resulta enormemente significativa ya que este personaje viajó a Oriente de donde pudo traer novedades en este sentido y ser el primer representante de una corriente «astronómica» que intentaba resolver el problema por otros procedimientos. De hecho esta corriente se manifestará cuando ᶜAbd al-Raḥmān III construya el palacio de Medina Azara situando en él una mezquita que, según las fuentes, estaba «correctamente» orientada[69]. Esto constituirá un precedente que mencionarán los astrónomos (*ahl al-taᶜdīl*) los cuales pretenderán cambiar el muro de la alquibla de la mezquita aljama de Córdoba con ocasión de la ampliación llevada a cabo por al-Ḥakam II. La cuestión fue zanjada por el alfaquí Abū Ibrāhīm quien manifestó al califa que con esta dirección habían rezado los mejores hombres de la comunidad musulmana, tanto soberanos antepasados suyos como musulmanes virtuosos y hombres sabios y que había sido establecida por *tābiᶜíes* como Mūsà b. Nuṣayr, Ḥanaš al-Ṣanᶜānī y otros semejantes. Resultaba, por ello, mejor seguir la tradición y no caer en innovaciones sospechosas[70].

Junto a la alquibla de la tradición existía, pues, una alquibla de los astrónomos de la que son testimonio los 30° al S del E de que habla Ibn al-Ṣaffār en su tratado de astrolabio y los distintos valores que menciona, en otro tratado sobre el mismo tema, Ibn al-Naṭ-

[68] Ibn ᶜĀṣim, *Kitāb al-anwā'* p. 16. No obstante Ibn ᶜĀṣim afirma que los que creen que Suhayl es visible desde las costas de Málaga la confunden con Ḥaḍār (*β Centauri*), estrella aún más meridional que Suhayl y que no es visible en al-Andalus. Cf. la comunicación inédita presentada por M. Forcada al Simposio Internacional de Historia de la Ciencia Arabe celebrado en Granada en Abril de 1992 y, sobre la literatura de *anwā'* su síntesis, llena de novedades, «Los libros de Anwā' en al-Andalus», L.C.A., pp. 103-113.

[69] Según me indica Antonio Almagro, la mezquita de Medina Azara está orientada a 17°.8 al Sur del Este, valor que se acerca bastante a los 10° al Sur del Este que se pueden obtener calculando el acimut de la alquibla para Córdoba por un procedimiento trigonométrico exacto.

[70] Maqqarī, *Nafḥ* ed. I. ᶜAbbās I, 561-562.

ṭāḥ (§ 5.2.1): 23°, 45° o 30° al S del E[71]. Por otra parte, es probable que se hubieran difundido en al-Andalus los métodos aproximados para determinar la alquibla formulados por al-Jwārizmī (fl. c. 830) (aparece citado en la obra astronómica alfonsí)[72] y por al-Battānī (lo menciona Ibn al-Naṭṭāḥ)[73]. Con el primero se obtiene un acimut de la alquibla de 21° utilizando las coordenadas geográficas para La Meca y Córdoba de las *Tablas de Toledo*, o de 24° (con las coordenadas de al-Battānī). Utilizando el método aproximado de al-Battānī y sus mismas coordenadas geográficas, King obtiene una alquibla a unos 23° al S del E para Córdoba.

Pese a lo expuesto hasta aquí, seguimos sin saber cuáles fueron los criterios utilizados para determinar la orientación de la alquibla tradicional y, por consiguiente, la de la mezquita aljama de Córdoba. A este respecto se me ocurren únicamente dos hipótesis:

1. La orientación de la mezquita de Córdoba puede ser consecuencia de la de las calles de la primitiva ciudad romano-visigoda. La posible construcción de la mezquita en el lugar previamente ocupado por la iglesia de S. Vicente puede, asimismo, haber determinado su orientación general. A este respecto pueden traerse a colación las excavaciones llevadas a cabo, hacia 1931, por Félix Hernández en el sector más antiguo de la mezquita, en las cuales aparecieron unos muros de mampostería que pudieron, tal vez, corresponder a los de la iglesia (como cree Ocaña) o a un edificio auxiliar de la misma. Varios de estos muros son paralelos al muro de la alquibla y, tal como señala Ocaña, se encuentran restos de un nicho de planta semicircular que podría corresponder al primitivo *miḥrāb* de la mezquita en su fase más antigua, anterior a ᶜAbd al-Raḥmān I[74].

[71] King, «Three Sundials» pp. 371-374 y 390.

[72] J. Samsó, «Tres notas sobre astronomía hispánica en el siglo XIII», E.H.C.A., 174-175.

[73] Así como también Ibn al-Samḥ (979-1035) en su tratado sobre el astrolabio. Cf. M. Viladrich, *El «Kitāb al-ᶜamal bi-l-asṭurlāb» (Llibre de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samḥ. Estudi i traducció* (Barcelona, 1986), págs. 65 y 132.

[74] Cf. Ocaña, *La basílica de San Vicente*, especialmente pág. 361 n. 1. Cf. también M. Gómez Moreno en *Ars Hispaniae* III (Madrid, 1951) págs. 19-20, quien no parece creer que los restos hallados por F. Hernández puedan corresponder a la primitiva basílica dado lo exiguo de sus dimensiones y lo humilde de su factura. He podido ver los planos inéditos de la excavación de F. Hernández gracias a la amabilidad de A.M. Vicent y A. Marcos, del Museo Arqueológico de Córdoba.

2. Mi segunda hipótesis resulta mucho más atrevida y con ella no hago más que reelaborar las teorías de D. King en torno al tema de la «geografía sagrada» recogiendo, asimismo, su observación de que el muro de la alquibla cordobesa es «paralelo» a la pared NW de la Kaᶜba. La orientación de la mezquita de Córdoba tal vez no sea errónea sino extraordinariamente precisa. Félix Hernández ha apuntado que el conjunto constituido por el patio y la mezquita de ᶜAbd al-Raḥmān I formaban un cuadrado perfecto[75]. Si aceptamos, como parece claro, que el muro de la alquibla cordobesa está orientado a unos 28° al E del S, puede comprobarse fácilmente (cf. fig. 5) que es aproximadamente «paralelo» a los muros NW y SE de la Kaᶜba. Dado que este último edificio es prácticamente cuadrado (rectangular, en realidad, pero sus lados se encuentran en una proporción 8:7), podríamos conjeturar que el cuadrado del conjunto arquitectónico construido por ᶜAbd al-Raḥmān I podría constituir un intento muy logrado de elaborar una estructura similar a la de la Kaᶜba y en la que cada uno de los cuatro lados iguales fuera «paralelo» al correspondiente del edificio de La Meca. Ahora bien, dado que, en el momento en el que se construye la mezquita, los tratadistas de la «geografía sagrada» no habían incluido, probablemente, todavía a al-Andalus en los esquemas que distribuían los lados y ángulos de la Kaᶜba entre las distintas regiones del mundo islámico, es posible que los constructores de la mezquita siguieran pensando que les correspondía, al igual que a los sirios, el eje mayor de la Kaᶜba que pasa por los puntos medios de los muros NW y SE. Obsérvese que, con esta hipótesis, no hago más que volver, de manera algo más elaborada, a la teoría tradicional que afirmaba que el muro de la alquibla cordobesa repetía «lo acostumbrado en las mezquitas sirias, para las que La Meca está al Sur»[76]

2.4.2 LA DETERMINACION DE LA HORA.

Todo lo anterior nos lleva a emitir la hipótesis de la existencia en al-Andalus de una tradición de *mīqāt* astronómico desde la segun-

[75] F. Hernández, *El codo en la historiografía árabe de la mezquita mayor de Córdoba* (Madrid, 1961) p. 30.

[76] L. Torres Balbás, «Arte hispanomusulmán hasta la caída del Califato de Córdoba» en *Historia de España* dirigida por R. Menéndez Pidal vol. V (Madrid, 1957), 346.

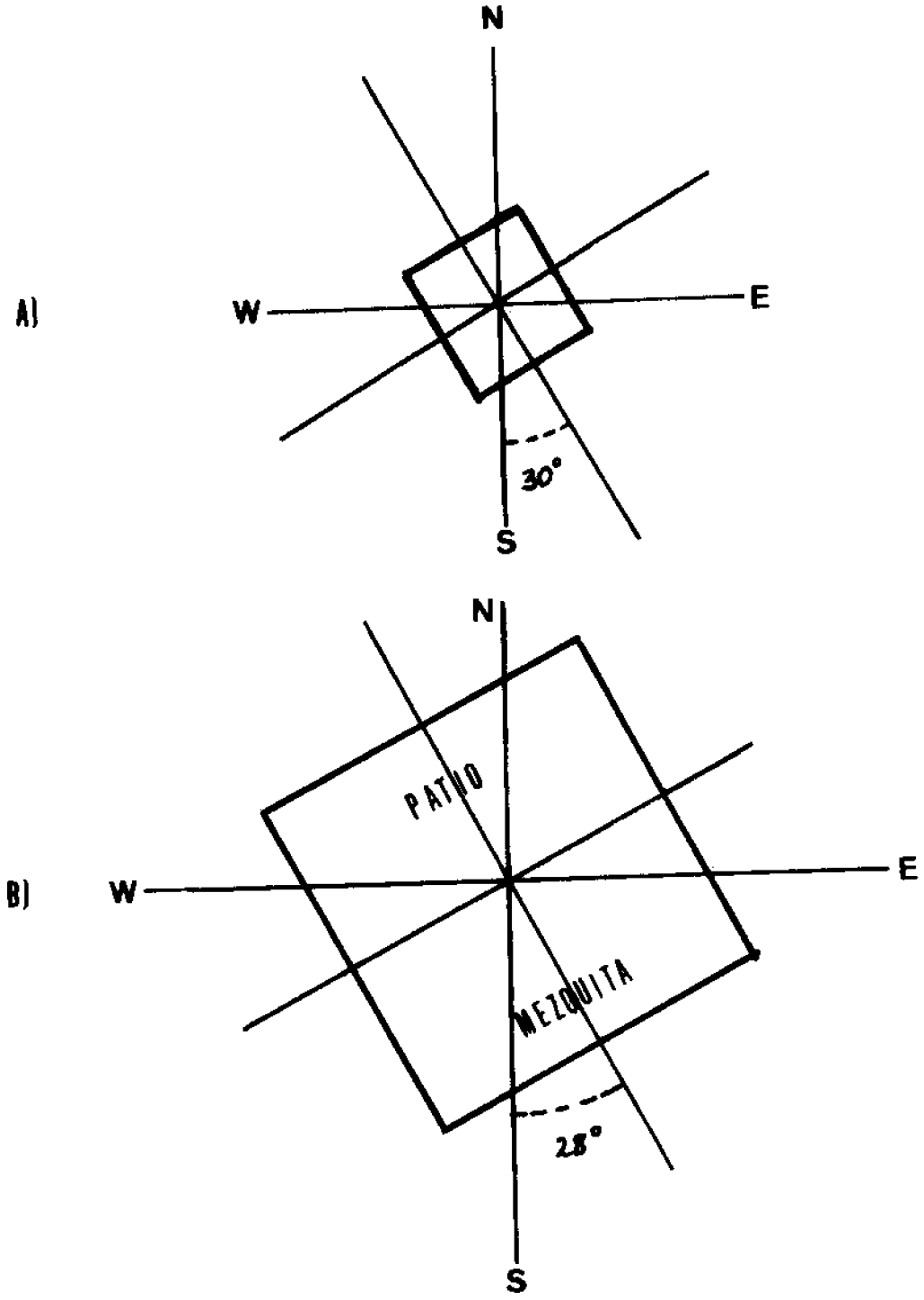


Fig. 5

Orientación a) de la Ka^{c}ba y b) de la Mezquita de Córdoba en época de ^{c}Abd al-Raḥmān I.

da mitad del siglo IX. Desgraciadamente, esta tradición está escasamente documentada y D. King, el gran especialista en la materia, sólo ha descubierto la supervivencia de unas tablas, calculadas -- en fecha indeterminada -- para la latitud de Córdoba, que permiten el trazado de cuadrantes solares[77], así como un breve tratado andalusí en el que se describen variedades de cuadrantes primitivos que no parecen documentados en otras fuentes árabes[78]. Sobre la tradición de estos cuadrantes en época califal hablaré más adelante en § 2.5.2.4 y sólo quiero adelantar que, a mediados del siglo X, Qāsim b. Muṭarrif al-Qaṭṭān (cf. *infra* § 2.5.1) describe una *balāṭa* (un tipo de cuadrante)[79], se ocupa del tema de la determinación de las horas diurnas mediante un gnomon de 12 unidades plantado verticalmente en el suelo y establece la regla tradicional, de acuerdo con la cual el fin de la oración del *ẓuhr* (mediodía) y principio de la oración del *ᶜaṣr* tiene lugar cuando la sombra proyectada por el gnomon sea igual a la sombra meridiana más un cuarto de la longitud del gnomon[80]. El texto nos da también la longitud de la sombra meridiana en Córdoba a lo largo del año, que oscilará entre una longitud mínima de 3.5 dedos y una longitud máxima de 23.5, lo que corresponde a una latitud de Córdoba comprendida entre 38;22° y 39° según el valor de la oblicuidad de la eclíptica que utilicemos. Nos ofrece asimismo una fórmula para determinar la hora diurna que será, si el sol no ha cruzado aún el meridiano:

[77] D. A. King, «A Fourteenth Century Tunisian Sundial for Regulating the Times of Muslim Prayer», *Prismata. Festchrift für Willy Hartner* (Wiesbaden, 1977), p. 201.

[78] D.A. King, *A Survey of the Scientific Manuscripts in the Egyptian National Library* (Winona Lake, Indiana, 1986), pág. 135. El título es *Faṣl fī waqᶜ al-sāᶜāt ᶜalà-l-musaṭṭaḥāt* y se conserva en el ms. Ṭalᶜat 155 (fols. 19r-21v) de la Biblioteca Nacional de El Cairo. Debo esta información a Mercè Viladrich.

[79] En su *Kitāb al-hay'a* ms. Carullah (Istambul) cit. fol. 319 r. J. Casulleras prepara una edición, traducción y estudio de este texto.

[80] Es reciente la publicación de la *Risāla fī awqāt al-sana. Un calendario anónimo andalusí* editada y traducida por M.A. Navarro (Granada, 1990), que contiene información sobre la determinación del principio del *ẓuhr* y del *ᶜaṣr* a lo largo del año. Los datos de este texto derivan, por lo menos, de dos fuentes distintas ya que combina el uso de un gnomon de 6 pies y 2/3 (da su equivalencia para un gnomon de 12 dedos) con otro de 7 (?) pies. M. Forcada presentó una comunicación (aún inédita) en la reunión de la "Societat Catalana d'Història de la Ciencia" celebrada en Mahón (Septiembre de 1991) en la que analiza estos materiales así como los que aparecen en los libros de *anwā'* de al-Kātib al-Andalusī y de al-Umawī al-Qurṭubī: cf. *infra* § 2.4.3.

$$t = (S/12 - S_m) / 72$$

en la que t es el número de horas transcurridas desde el orto del sol, S es la longitud de la sombra proyectada por un gnomon de 12 dedos en un momento determinado, y S_m es la sombra meridiana del sol en aquel día. La expresión anterior no parece tener ningún sentido y creo que se trata de una corrupción de otra fórmula que aparece ya en el *zīŷ* de al-Fazārī, astrónomo oriental del siglo VIII autor de una de las primeras adaptaciones árabes del *Sindhind*[81]:

$$t = 72 / (S - S_m + 12)$$

Habrá que pensar, pues, en una corrupción del manuscrito o bien en que Qāsim b. Muṭarrif no era excesivamente competente como astrónomo, algo que no llamaría la atención en un personaje que aparece mencionado en los diccionarios biográficos sólo como almocrí y tradicionista[82]. Pese a todo, su *Kitāb al-hay'a* contiene materiales interesantes para el tema que nos ocupa ya que, a continuación, se ocupa del problema de la determinación de la hora nocturna mediante una *ṭurayyā*, que no es más que un reloj de candela que consta de doce candiles de vidrio provistos de mechas de algodón. En el interior del primer candil se introduce la cantidad de aceite suficiente para que la mecha arda durante una hora temporal de la noche en cuestión, en el segundo candil aceite para dos horas, en el tercero para tres, y así sucesivamente hasta llegar al último candil que arderá durante doce horas, o sea toda la noche. Qāsim b. Muṭarrif detalla, a continuación, las cantidades de aceite necesarias para una hora nocturna a lo largo de todo el año[83].

El mismo Qāsim b. Muṭarrif nos ofrece otro procedimiento para

[81] E.S. Kennedy, *The Exhaustive Treatise on Shadows by Abū al-Rayḥān Muḥammad b. Aḥmad al-Bīrūnī* II (Aleppo, 1976), 118–119.

[82] Cf. M.I. Fierro, «Manuscritos de obras andalusíes en las bibliotecas de Estambul», *Al-Qanṭara* 9 (1988), 203.

[83] Cf. ms. Carullah fol. 320 r. Una descripción casi idéntica ha sido atribuida a Ibn Yūnus (fl. 930): cf. E.S. Kennedy y W. Ukashah, «The Chandelier Clock of Ibn Yūnis», *Isis* 60 (1969), 543-545, reimpreso en *S.I.E.S.*, pp. 543-545. Sobre este reloj de candela presentó una comunicación, aún inédita, M. Comes en la reunión de la "Societat Catalana d'Història de la Ciencia" celebrada en Mahón en Septiembre de 1991.

la determinación de las horas nocturnas[84]: se basa en el hecho de que el «zodiaco» lunar está dividido en 28 mansiones en cada una de las cuales la luna permanece una noche a lo largo del mes. En un momento determinado de la noche, catorce de estas mansiones se encuentran por encima del horizonte y otras catorce por debajo. A la puesta del sol, este ocultará una mansión determinada (*a*), mientras que la décimocuarta después de ésta (*b* = *a* + *14*) estará saliendo por el horizonte oriental. El recorrido de esta mansión *b* por la bóveda del cielo proporciona un esquema simple para determinar la hora nocturna que aparece también en otras fuentes andalusíes como el calendario de Ibn ᶜĀṣim (m. 1012-1013) que, como hemos visto, puede remontar a una fuente anterior, en el *Muᶜrib* de Abū Ḥāmid al-Garnāṭī (m. 1170)[85], en el libro de *anwā'* de al-Umawī al-Qurṭubī (m. 1206) etc. La última fuente citada tiene el interés especial de utilizar, para determinar la hora por el procedimiento anterior, un diagrama en el que superpone un círculo móvil (con las mansiones lunares y los signos zodiacales) sobre una representación de la bóveda celeste dividida en 12 horas. Pese a lo rudimentario del sistema, tiene el interés de ser análogo al que se utilizará, a partir del siglo XIII, para determinar la hora nocturna mediante el instrumento denominado *nocturlabio*[86], que parece estar documentado en fuentes latinas y no haber sido conocido en el mundo árabe[87].

Para terminar con estas referencias a los escasos datos de que disponemos acerca de los orígenes del *mīqāt* en al-Andalus, añadiré que King ha descrito recientemente una tabla para calcular la visibilidad de la luna nueva en cada uno de los siete climas del *ecumene*: se trata de una tabla muy corrupta pero que parece haber tenido un cierto éxito en la tradición manuscrita y King la considera andalusí y calculada en el siglo IX o X[88]. Otra referencia interesante, aunque

84 Ms. Carullah fols. 316r y 320r.

85 Cf. la ed, trad. y estudio de I. Bejarano, *Abū Ḥāmid al-Garnāṭī (m. 565/1169), Al-Muᶜrib ᶜan baᶜḍ ᶜaŷā'ib al-Magrib (Elogio de algunas maravillas del Magrib)*, Madrid, 1991.

86 Este instrumento determina la hora en función del giro de las estrellas circumpolares en torno a la Polar.

87 Sobre todo lo anterior cf. M. Forcada, «Mīqāt en los calendarios andalusíes», *Al-Qanṭara* II (1990), 59-69.

88 D.A. King, «Some Early Islamic Tables for Determining Lunar Crescent Visibility», *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of*

tardía, se relaciona con la quema de la biblioteca de al-Ḥakam II ordenada por Almanzor (981-1002) con el fin de congraciarse la simpatía de los alfaquíes conservadores. De acuerdo con el testimonio de Ṣāᶜid de Toledo[89] se procedió a un previo expurgo de la misma que muestra que las iras del sector más tradicional iban dirigidas en contra de las «ciencias de los antiguos» (*ᶜulum al-awa'il*), surgidas fuera de la tradición árabo-islámica propiamente dicha, con la excepción de la medicina y de la aritmética, cuya utilidad práctica resultaba demasiado evidente. De esta forma se quemaron los libros de lógica, astronomía y otras ciencias cultivadas en la Antigüedad. Ahora bien, D. King ha señalado, en el manuscrito 468 de la Universidad de Leiden, la presencia de citas de la obra de Ṣāᶜid en una versión que, a veces, presenta variantes interesantes con respecto al texto editado[90]. Una de estas variantes (fol. 176 v°) nos interesa aquí ya que señala que se libraron de la quema no sólo los libros de medicina y aritmética sino también los relacionados con la «ciencia de las horas de la oración» (*ᶜilm awqāt al-ṣalawāt*), tema que constituye uno de los capítulos más importantes del *mīqāt*. Existía, pues, bibliografía sobre esta materia en la biblioteca de al-Ḥakam II.

2.4.3 EL «CALENDARIO DE CORDOBA».

El documento andalusí más antiguo y, al mismo tiempo, cronológicamente seguro en el que aparecen materiales de *mīqāt* surge en torno al año 961, fecha en la que sube al trono el califa al-Ḥakam II. En efecto sabemos que el llamado *Calendario de Córdoba* fue compuesto por el médico e historiador ᶜArīb b. Saᶜīd (m. 980)--sobre el que tendremos ocasión de insistir más adelante -- y por el obispo mozárabe Rabīᶜ b. Zayd y dedicado a al-Ḥakam II antes o después de su acceso al califato[91]. Por más que esta obra se inserta

Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E.S. Kennedy (*Annals of the New York Academy of Sciences* vol. 500. New York, 1987), 197-207.

89 Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* trad. Blachère pp. 125-126; ed. Bū ᶜAlwān pp. 163-164.

90 D.A. King, «On the Early History of the Universal Astrolabe in Islamic Astronomy, and the Origin of the Term "Shakkāziya" in Medieval Scientific Arabic», *Journal for the History of Arabic Science*" 3 (1979), p. 250.

91 R.P.A. Dozy y Ch. Pellat, *Le Calendrier de Cordoue*. Leiden, 1961; J. Martínez Gázquez y J. Samsó, «Una nueva traducción latina del Calendario de Córdoba (siglo XIII)», T.E.A.E.S.XIII, 9-78; J. Samsó y J. Martínez Gázquez, «Algunas ob-

dentro de la tradición de los tratados de astrometeorología árabes (*kutub al-anwā'*) resulta, dentro de ella, curiosamente original[92] y totalmente distinto del libro -- varias veces citado y mucho más tradicional -- de Ibn ᶜĀṣim. Encontramos, en efecto, en el *Calendario de Córdoba* una curiosa mezcla de tradiciones que podemos resumir de la manera siguiente:

A. Latino-mozárabe: referencias a las festividades de los santos cristianos; prácticas agrícolas habituales en España.

B. Arabe preislámica, aunque utilizada también por otras muchas culturas: predicciones meteorológicas basadas en el antiguo sistema de los *anwā'* (ocasos de ciertos asterismos justo antes de la salida del sol que marcan determinados períodos que jalonan el año solar y coinciden frecuentemente con determinados fenómenos meteorológicos que tienen carácter cíclico).

C. Greco-alejandrina: mención de una división del año en cuatro períodos desiguales que el texto atribuye a «los antiguos médicos y filósofos» y, en particular, a Hipócrates y Galeno. Esta estructuración de las estaciones corresponde a la tradición griega de los «calendarios naturales» y se encuentra recogida, entre otros, por Hipócrates en su obra *Sobre la dieta*. El *Calendario* contiene asimismo prescripciones dietéticas (comida, bebida, ejercicio físico, purgas y sangrías, relaciones sexuales) que son también de tradición hipocrática y alusiones a los períodos en los que es, o no, aconsejable la

servaciones al texto del Calendario de Córdoba». *Al-Qanṭara* 2 (1981), 319-344.

92 Relacionada con la tradición del *Calendario de Córdoba* se encuentra la *Risāla fī awqāt al-sana* ya mencionada, cuya ed. acaba de publicar M.A. Navarro: se trata de un texto que, según su editora, habría sido redactado después de 1206, la fecha de muerte de al-Umawī al-Qurṭubī autor de otro libro de la misma índole del que conservamos un fragmento manuscrito. La obra de al-Umawī al-Qurṭubī sería una de las fuentes de la *Risāla* juntamente con el *Calendario de Córdoba* y con el *Kitāb al-anwā'* de al-Kātib al-Andalusī, identificado por F. Sezgin (G.A.S. VII, 363-364) con Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. Muḥammad b. Abī-l-Ḥusayn al-Kātib (m. 1029). Todo este conjunto de fuentes contiene materiales de interés para la historia del *mīqāt* en al-Andalus y lo único que puedo señalar, de momento, es que parte de los datos numéricos de la *Risāla fī awqāt al-sana* parecen derivar del *Calendario de Córdoba* del que suplen ciertas omisiones. Cf. finalmente, sobre algunas de estas fuentes, D.A. King, « A Survey of Medieval Shadow Schemes for Simple-Time Reckoning», *Oriens* 32 (1990), 218-220; M. Forcada, «Les sources andalouses du Calendrier d'Ibn al-Bannā'», comunicación presentada al *II Coloquio Hispano-Marroquí de Ciencias Históricas* (Granada, 1989), en curso de publicación.

navegación por el Mediterráneo que coinciden con prescripciones que aparecen en Hesíodo y repite Arato de Solos[93].

D. Nueva astronomía creada por la cultura árabo-islámica sobre la base de una doble tradición indo-irania y ptolemaica. A este respecto, el *Calendario* nos ofrece la fecha en la que el sol entra en los doce signos zodiacales según el *Sindhind* y según los *aṣḥāb al-mumtaḥan* (astrónomos observadores que, comunmente, se asocian con los autores de las *Tablas Ma'mūníes*, c. 830). J. Vernet señaló que el *Sindhind* puede identificarse con las tablas de al-Jwārizmī, sobre cuya posible introducción en al-Andalus he hablado ya, y llamó la atención sobre un pasaje de la traducción latina de Gerardo de Cremona en la que éste identifica a los *aṣḥab al-mumtaḥan* con al-Battānī[94].

Por otra parte, y dentro de esta misma nueva astronomía, aparecen materiales que entran de lleno en la problemática del *mīqāt* ya que tenemos:

1. Veintitrés alturas meridianas del sol distribuidas a lo largo de todo el año, que corresponden a una latitud de 37;30° (documentada para Córdoba en uno de los manuscritos de las *Tablas de Toledo*) y a una oblicuidad de 23;50° que es, sin duda, el resultado de redondear los 23;51,20° ptolemaicos.

2. Las «sombras» (cotangentes) que corresponden a las alturas meridianas antes citadas, calculadas para un gnomon = 1 ya que se trata, aquí, de calcular la longitud de la sombra proyectada, a mediodía, por un individuo de pie. Pese a esto, los valores parecen derivar de una tabla calculada para $g = 12$ o, mejor, de dos tablas del mismo tipo, calculadas probablemente por procedimientos aritméticos: una de ellas daría la sombra correspondiente a la entrada del sol en los doce signos zodiacales y la segunda a su paso por el punto medio de cada signo.

3. Veinticuatro valores (dos por mes) que corresponden a la duración del día y de la noche a lo largo del año: están calculados utilizando los parámetros antes citados y mediante un procedimiento trigonométrico. Los resultados son, en general, correctos.

[93] J. Samsó, «La tradición clásica en los calendarios agrícolas hispanoárabes y norteafricanos», *Segundo Congreso Internacional de Estudios sobre las Culturas del Mediterráneo Occidental* (Barcelona, 1978), 177-186.

[94] J. Vernet, «La ciencia en el Islam y Occidente», E.H.C.M., 28-30.

4. Veintiocho valores de la duración del crepúsculo: esta serie es, sin duda, la más sorprendente ya que parece calculada para una altura negativa del sol de -17°, y utilizando una procedimiento aproximado probablemente similar al enunciado por Brahmagupta[95]:

$$t = \frac{D}{\text{cotg } h + 1}$$

donde t es el ángulo horario medido a partir del orto/ocaso del sol, D el arco semidiurno correspondiente a la fecha y h la altura negativa del sol (-17°) correspondiente al comienzo del crepúsculo matutino o al fin del vespertino.

Determinar la duración del crepúsculo no es más que un caso particular del problema, más general, consistente en establecer la hora en función de la altura del sol. Los tratadistas de *mīqāt* se interesarán sobre todo por las horas de la oración, para las que la duración de la aurora y del crepúsculo tiene una importancia esencial. Los astrónomos orientales estudiaron este problema y dispusieron, desde el primer momento, de procedimientos exactos. Por esto llama la atención el carácter extraordinariamente burdo de los valores registrados en el *Calendario de Córdoba* así como del método empleado para su cálculo. Por otra parte estos valores constituyen uno de los escasísimos testimonios del interés por este tipo de problemas en al-Andalus[96]. Además de la fórmula errónea de Qāsim b. Muṭarrif a la que he aludido en el apartado anterior, sólo conozco otro documento publicado de esta índole: una tabla que nos permite determinar la hora en función de la altura del sol a lo largo de los doce meses del año y que se encuentra dentro del *Tratado de Astrología* atribuido a Enrique de Villena. Se trata de un texto castellano del siglo XV pero la tabla está calculada para una latitud de 38° (Córdoba) y utiliza una oblicuidad de 24°, parámetro usual de los astrónomos indios. Creo que se trata de una tabla copiada de un

95 Kennedy, *Shadows* I, 189 y II, 117.

96 J. Samsó, «Sobre los materiales astronómicos en el "Calendario de Córdoba" y en su versión latina del siglo XIII», N.E.A.E.S.A.X, 125-138.

original árabe, probablemente bastante arcaico, y utiliza un procedimiento de cálculo también aproximado[97].

Concluiré este apartado llamando la atención sobre la influencia de la tradición astronómica indo-irania en estos materiales del *Calendario de Córdoba*, algo que no debe extrañarnos ya que lo podremos ver repetido incesantemente a lo largo de toda la historia de la astronomía andalusí. Por otra parte, las cuatro series de valores numéricos que he considerado, para calcular las cuales se han utilizado métodos de nivel muy distinto, plantean el problema de las fuentes utilizadas por los autores del *Calendario*: dado que ni ᶜArīb b. Saᶜīd ni Rabīᶜ b. Zayd eran astrónomos, cabe dentro de lo posible que estuvieran utilizando unas tablas de *mīqāt* calculadas para una latitud de 37;30º que podría ser la de Córdoba o la de otra ciudad con la misma latitud[98].

2.5 ASTRONOMIA Y ASTROLOGIA A PARTIR DE C. 850.

2.5.1 GENERALIDADES.

Hemos visto en § 2.2 cómo, bajo ᶜAbd al-Raḥmān II, surge un notable interés por la astrología lo cual, por otra parte, da lugar a la introducción en al-Andalus de materiales que pueden considerarse plenamente astronómicos. De hecho, este interés no desaparecerá en toda la etapa que estamos considerando aquí y nos vemos obligados a considerarlo con una cierta atención si queremos vislumbrar algo acerca de los antecedentes de la escuela propiamente astronómica que surgirá en al-Andalus a partir de la segunda mitad del siglo X. Los escasos nombres de astrónomos y astrólogos que nos ofrece Ṣāᶜid de Toledo en sus *Ṭabaqāt* resultan, de momento, poco ilustrati-

[97] P.M. Cátedra y J. Samsó, *Tratado de Astrología atribuido a Enrique de Villena* (Barcelona, 1983), 67-69, 222-227.

[98] Cf. la lista de posibles localidades candidatas en E.S. y M.H. Kennedy, *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources* (Frankfurt, 1987), p. 694.

vos dado nuestro desconocimiento de sus obras[99]. Este panorama cambiará, tal vez, en el futuro cuando se lleve a cabo la edición y estudio del *Kitāb al-hay'a* («Libro de Astronomía/ Cosmología») del lector del Corán y tradicionista Qāsim b. Muṭarrif al-Qaṭṭān (ya mencionado en § 2.4.2), que debió vivir a mediados del siglo X[100]: un dato interesante a efectos de documentar una actividad astronómica en Córdoba a principios del s. X se encuentra en su obra antes citada, en la que menciona observaciones de estrellas del año 300 H./912-913 y da, a continuación, una tabla de 16 estrellas en la que indica, para cada una, su longitud (con una aproximación de medio grado), latitud, arco diurno para Córdoba y grado de la eclíptica que tiene su orto juntamente con la estrella en esta ciudad[101]. Por otra parte Qāsim b. Muṭarrif debió ser muy longevo ya que cita a Maslama b. Aḥmad [al-Maŷrīṭī] (m. 1007: cf. *infra* 2.5.2)[102].

El *Kitāb al-hay'a* de Qāsim b. Muṭarrif es, posiblemente, el texto astronómico andalusí más antiguo que conocemos. En él, su autor muestra su interés no sólo por cuestiones relacionadas con el curso de la luna por las mansiones lunares y problemas del calendario musulmán, sino que analiza asimismo el calendario solar juliano, contiene referencias a la era de Alejandro, al curso de los planetas (le interesa particularmente explicar las estaciones y retrogradaciones de los planetas y las máximas elongaciones de Mercurio y Venus con respecto al sol), a ciertos problemas de astronomía esférica (como los relativos a la determinación de la hora, a los que ya he aludido, determinación de la latitud del lugar etc.). Conoce y cita a Ptolomeo pero es probable que utilice una fuente indirecta. En general se mantiene a un nivel de descripción puramente cualitativa pero cita valores de una tabla de ascensiones oblícuas calculada para Córdoba. De forma incidental introduce algunas nociones de relevancia astrológica pero no parece ser éste su interés fundamental. Lo

[99] La nómina de estos personajes la recoge M. Marín, «ᶜIlm al-nuğūm»' 511-512.

[100] F. Sezgin, G.A.S. VI, págs. 197-198. Cf. también M.I. Fierro, «Manuscritos de obras andalusíes» ya cit. El personaje aparece mencionado en *Tārīj ᶜulamā' al-Andalus* de Ibn al-Faraḍī: ed. F. Codera (Madrid, 1891-1892) nº 1072 y ed. Cairo, 1966 nº 1074. Esta breve noticia biográfica no indica fechas pero sí los nombres de sus maestros todos los cuales mueren en el segundo cuarto del siglo X. Debo estos datos a Maribel Fierro.

[101] Ms. Carullah fols. 317 r y v.

[102] Ms. Carullah fol. 316 v.

más notable en esta obra es que parece, efectivamente, tratarse de una obra de *hay'a*, o sea una descripción del cosmos físico que se supone real, la única de esta índole que conocemos en al-Andalus antes del siglo XII (cf. § 5.3). Qāsim b. Muṭarrif habla de una décima esfera o esfera del *ᶜaql* (¿entendimiento agente?) a la que sigue una novena (*falak al-burūŷ*, «esfera de los signos»), una octava (*falak al-kawākib al-ṯābita*, «esfera de las estrellas fijas») y las esferas planetarias[103]. Por otra parte el cosmos que describe Qāsim es, claramente, un cosmos ptolemaico y el máximo interés de su *Kitāb al-hay'a* radica en que este libro constituye la primera documentación conocida de la difusión indirecta en al-Andalus de las *Hipótesis planetarias* de Ptolomeo ya que en él aparece una detallada relación de las distancias máximas y mínimas de todos los cuerpos celestes, así como de sus diámetros, que deriva de las doctrinas expuestas por Ptolomeo en las *Hipótesis*, aunque no conoce esta obra directamente sino a través del *Kitāb al-aᶜlāq al-nafīsa* escrito, a principios del s. X, por el geógrafo oriental Ibn Rustah[104].

Si en § 2.2 hemos visto un notable desarrollo de la astrología en tiempos de ᶜAbd al-Raḥmān II, las circunstancias van a cambiar ahora, sobre todo en el último cuarto del siglo X: los medios musulmanes bienpensantes asociarán frecuentemente astrología y paganismo. Son significativas, al respecto, las palabras del historiador Ibn Saᶜīd al-Magribī (1213-1286) recogidas por al-Maqqarī[105]:

> Todas las ciencias son bien consideradas y se estudian en al-Andalus, con la excepción de la filosofía y la astrología (*tanŷīm*) pero estas dos ciencias interesan profundamente a los aristócratas que no parecen sentir, con respecto a ellas, el mismo miedo que el vulgo. Ya que, cuando las gentes dicen acerca de una persona, «Fulano lee filosofía» o «trabaja sobre astrología», el vulgo lo considerará

[103] Ms. Carullah fol. 316 v.

[104] Ms. Carullah 320v-321r. Sobre la tradición árabe de las *Hipótesis* cf. B.R. Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypotheses», *Transactions of the American Philosophical Society* N.S. 57 nº 4 (1967); N. Swerdlow, *Ptolemy's Theory of the Distances and Sizes of the Planets. A Study of the Scientific Foundations of Medieval Cosmology*. Tesis doctoral inédita (Yale, 1968) aunque accesible a través de University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.

[105] Maqqarī, *Nafḥ* ed. I. ᶜAbbās I, 221.

> un hereje (*zindīq*), su espíritu quedará encadenado y, si comete un error, lo lapidarán o quemarán antes de que lleguen al sultán noticias del hecho o, incluso, puede que sea el propio sultán quien ordene su muerte con objeto de atraerse la simpatía del vulgo. Son, frecuentemente, sus monarcas quienes ordenan quemar los libros de estas materias cuando los encuentran y por este procedimiento al-Manṣūr b. Abī ᶜĀmir [981-1002] trató de acercarse a los corazones de sus súbditos cuando empezó a acceder al poder por más que, en secreto, cultivaba estas ciencias según afirma al-Ḥiŷārī, aunque Dios es quien conoce la verdad.

La opinión de al-Ḥiŷārī es, probablemente, correcta y Almanzor, como la gran mayoría de sus predecesores en el poder, se interesaba por la astrología. Hace años ya que J. Vernet sugirió que las campañas de Almanzor se iniciaban en momentos predeterminados por los astrólogos debido a sus condiciones astrales favorables[106] y, muy recientemente[107] ha llamado la atención sobre un pasaje del *Matīn* de Ibn Ḥayyān que demuestra que Aḥmad b. Fāris al-Baṣrī, que había sido jefe de los astrólogos del califa al-Ḥakam II, levantó el horóscopo natalicio de ᶜAbd al-Malik al-Muẓaffar, hijo de Almanzor, pronosticándole toda suerte de venturas, así como la decadencia que seguiría a su muerte. Se levantaban, sin duda, horóscopos en el momento del nacimiento de los hijos de los monarcas y, posiblemente, lo mismo sucedía en las familias aristocráticas: conservamos, por lo menos, la referencia al nacimiento del famoso polígrafo Ibn Ḥazm de Córdoba (m. 1063) el cual, según una fuente, nació en el sector oriental de Córdoba, en el arrabal de Munyat al-Mugīra, antes de que saliera el sol pero después de que el *imām* hubiese despedido a los fieles tras finalizar la oración de la aurora, al finalizar la noche del miércoles último día de Ramadán del año 384 H./7 de Noviembre

106 J. Vernet, «Astrología y política en la Córdoba del siglo X», *Revista del Instituto de Estudios Islámicos* 15 (1970), 91-100.

107 Utilizo el texto inédito de una conferencia de J. Vernet pronunciada en Málaga en Septiembre de 1988.

de 994. De acuerdo con el texto[108] el ascendente era Scorpio y, considerando que la salida del sol para esta fecha en Córdoba se producía hacia las siete de la mañana, podemos calcular que el ascendente se encuentra precisamente en Scorpio (entre 210° y 240°) hacia las seis y media de la mañana tanto si partimos de las tablas de al-Battānī (ascendente: 225;33°) como de las de al-Jwārizmī (ascendente: 219;40°) para calcular la longitud del sol a mediodía.

La tradición astrológica sobrevivió, pues, a las circunstancias más difíciles gracias al interés que sentía por ella la clase dominante y a pesar de la inquina que manifestaban contra ella tanto los piadosos alfaquíes -- como el famoso Yaḥyà b. Yaḥyà (m. 849) en tiempos de ᶜAbd al-Raḥmān II -- como los poetas áulicos, temerosos de que los astrólogos pudieran constituir una competencia temible que menoscabara la influencia que ejercían en los monarcas. Un claro ejemplo lo constituye el poeta Ibn ᶜAbd Rabbihi (860-939), autor de un cierto número de poemas en los que ataca las creencias astrológicas. Curiosamente, algunos de estos poemas demuestran que, en la época, la actitud antiastrológica es, con frecuencia, también antiastronómica. Así, en un poema contra Abū ᶜUbayda Muslim b. Aḥmad al-Layṯī (m. 907) -- citado en § 2.4.1 a propósito de su actitud contraria a la orientación tradicional de la alquibla -- no sólo censura el que crea en la influencia que los planetas ejercen en la tierra, sino que ataca también la esfericidad del universo y la de la tierra, el hecho de que esta última pueda considerarse como un punto en medio del espacio y que el verano del hemisferio meridional se corresponda con el invierno del septentrional y viceversa. Curiosamente tres, al menos, de estos puntos parecen citas del primer libro del *Almagesto* de Ptolomeo en el que se habla del movimiento esférico de los cielos (I,2), de la esfericidad de la tierra (I,3) y de que la Tierra puede considerarse un punto en medio del espacio (I,5): los versos de Ibn ᶜAbd Rabbihi constituyen, probablemente, la documentación más antigua conocida acerca de la difusión en al-Andalus del *Almagesto*, que tanto interesará, poco después, a Maslama de Madrid. Igualmente, en otra serie de versos, Ibn ᶜAbd Rabbihi considerará astrológicas y «mentiras contra Dios» una serie de obras que, según parece, son tablas astronómicas: se trata del *Sindhind* y del *Arkand*, representantes de la tradición india, pero también del

[108] Maqqarī, *Nafḥ* ed. I. ᶜAbbās II, 78-79. La fuente de estos datos es, claramente, el propio Ibn Ḥazm, según señala Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān p. 184.

Zīŷ (probablemente las tablas de al-Battānī) y del *Qānūn* (tal vez las *Tablas Manuales* de Ptolomeo, editadas por Teón de Alejandría en el siglo IV de nuestra era). Otro poema del propio Ibn ᶜAbd Rabbihi, en el que éste satiriza a un astrólogo llamado Ibn ᶜUzarā' (tal vez Ibn ᶜAzrā' /ᶜEzra, como sugiere M. Marín) tiene el evidente interés de venir acompañado de una anécdota en la que se nos presenta a un grupo de astrólogos que discuten cuándo terminará una etapa de sequía: se trata de un tema de astrología meteorológica muy frecuente en el *Libro de las Cruzes*, en el que tanto he insistido en el capítulo anterior. Este relato, junto con las numerosas predicciones y discusiones a las que dio lugar la conjunción de Saturno y Júpiter del año 396/1006-7 -- de la que hablaré a propósito del pronóstico elaborado por Maslama-- hace pensar en la existencia, en la Córdoba del siglo X, de un nutrido grupo de profesionales de la astrología que habrían sido los responsables de la identificación de la estatua situada en la puerta de Alcántara de la ciudad con el signo de Virgo, considerado como el signo zodiacal que señoreaba a la ciudad[109]. La presencia de estos personajes y el interés que las clases cultas parecían sentir por el tema justifica, quizás, la frecuencia con la que los historiadores andalusíes aluden a fenómenos astronómicos observables en una u otra ocasión[110].

2.5.2 LA MADUREZ DE LA ASTRONOMIA ANDALUSI: ESCUELA DE MASLAMA.

2.5.2.1 *Generalidades.*

No hemos encontrado hasta ahora nada más que indicios de la existencia de una astronomía andalusí y en ningún momento puede decirse que ésta haya dado pruebas de ser capaz de ofrecer una aportación original. La situación cambiará radicalmente con la aparición de Maslama de Madrid, fundador de una auténtica escuela de

[109] Sobre todas estas cuestiones, además de M. Marín, «ᶜIlm al-nuğūm» cf. también J. Samsó, «The Early Development of Astrology in al-Andalus», *Journal for the History of Arabic Science* 3 (1979), 228-243; «Alfonso X y los orígenes de la astrología hispánica» E.H.C.A., 81-114. Sobre el problema de la identificación de la estatua femenina situada en la puerta de Alcántara, cf. la discusión entre E. de Santiago («Unas notas en torno a la "Bāb al-Ṣūra" de Córdoba», *Miscelánea de Estudios Arabes y Hebraicos* 18-19 (1969-70), 129-136) y M. Ocaña («Algo más sobre la "Bāb al-Ṣūra" de Córdoba», *Al-Qanṭara* 3 (1982), 447-455).

[110] J. Vernet, «Algunos fenómenos astronómicos» (cit.), 23-30.

astrónomos andalusíes, cultivadores asimismo de la aritmética y de la geometría, en la que destacan, ante todo, Ibn al-Samḥ e Ibn al-Ṣaffār. La información que nos proporciona Ṣāᶜid de Toledo[111] sobre los discípulos de Maslama y los discípulos, a su vez, de estos permite elaborar un árbol genealógico de la escuela (*Cuadro 1*) que muestra que, por vez primera, las ciencias exactas están adquiriendo entidad en al-Andalus:

Maslama	*Ibn al-Jayyāṭ*	*Ibn Šahr*	*Ibn al-Layṯ*
	Ibn al-Samḥ	*al-Wāsiṭī*	*al-Saraqusṭī*
	Ibn al-Ṣaffār →	*Ibn Bargūṯ* →	*Ibn al-Ŷallāb*
	Zahrāwī	*Ibn al-ᶜAṭṭār*	*Ibn Ḥayy*
	Ibn Jaldūn	*al-Qurašī*	
	Kirmānī		

Cuadro 1

Al considerar el cuadro anterior, se impone una primera constatación: la de que los maestros del grupo y, por tanto, los personajes que, en un principio, deben considerarse como los más influyentes, son Maslama, Ibn al-Ṣaffār e Ibn Bargūṯ. Por otra parte, sólo parece conservarse -- de manera parcial -- la obra de Maslama, Ibn al-Ṣaffār e Ibn al-Samḥ, y sobre ellos concentraré mi exposición ya que los restantes son poco más que nombres, con la excepción de Ibn al-Jayyāṭ -- que fue astrólogo de corte en Córdoba, Zaragoza y Toledo -- del que conservamos fragmentos de un poema didáctico sobre las significaciones de Saturno en las cuatro triplicidades, en los doce signos y en sus conjunciones con Júpiter[112]. Otro rasgo a señalar, entre los datos que nos ofrece Ṣāᶜid, es la insistencia en el cultivo de la aritmética y de la geometría por parte de la mayoría de estos personajes. Apenas sabemos nada sobre el desarrollo de la matemática en esta época, dada la falta de documentación, pero si tenemos en cuenta el desarrollo que tuvo lugar en el siglo siguiente,

[111] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* tr. Blachère pp. 129-136; ed. Bū ᶜAlwān pp. 168-181.

[112] J. Vernet, «Tradición e innovación en la ciencia medieval», E.H.C.M. pp. 179-180.

en el que llamarán la atención las figuras de Yūsuf al-Mu'taman y de Ibn Muᶜāḏ (§ 3.2), cabe pensar que estos grandes autores tuvieron, necesariamente, predecesores y que éstos debieron ser, forzosamente, los matemáticos de la escuela de Maslama. De hecho Ṣāᶜid constituye un testigo importante de la dedicación a la matemática por parte de esta escuela y afirma que tanto Maslama como Ibn al-Samḥ y al-Zahrāwī escribieron libros sobre aritmética comercial, disciplina que recibe el nombre de *al-muᶜāmalāt*[113]. Aunque estas obras no parecen conservarse tenemos, sin duda, un testimonio importante acerca del género en una traducción latina del siglo XII atribuida a Johannes Hispalensis que lleva el título de *Liber mahameleth*, término que transcribe *muᶜāmalāt*[114] y que podría ser una adaptación de la obra de cualquiera de los tres autores citados anteriormente. El *Liber mahameleth* consta de una parte teórica en el que se ocupa de teoría de las proporciones y de las operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación, división y raíz cuadrada) y expone, por ejemplo, buenos procedimientos para obtener aproximaciones a raíces cuadradas inexactas. En él se encuentran asimismo referencias a la resolución de ecuaciones de primero y segundo grado y es posible que la obra original contuviera un apartado dedicado al álgebra. Las autoridades mencionadas corresponden a lo que cabría esperar que fuera conocido en al-Andalus en la segunda mitad del siglo X: Euclides, Arquímedes, Nicómaco de Gerasa, al-Jwārizmī y Abū Kāmil. La obra termina con una larga colección de problemas sobre temas de compra y venta de mercancías, contratación de obreros, distribución y preparación de alimentos y cambio de monedas alguno de los cuales (problema de la escalera) tiene una larga historia ya que se plantea, por vez primera, en textos matemáticos babilonios. El *Liber mahameleth* y el tratado de agrimensura (*taksīr*) de Ibn ᶜAbdūn al-Ŷabalī -- el médico y matemático de la segunda mitad del siglo X al que he mencionado en § 2.1 -- son los dos únicos textos conservados que pueden darnos información acerca del desarrollo de la matemática andalusí en esta época. Aparte de ellos sólo disponemos de referen-

[113] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān págs. 169-171; trad. Blachère págs. 129-132.

[114] J. Sésiano, «Le *Liber mahameleth* un traité mathématique latin composé au XII^e siècle en Espagne», *Actes du Premier Colloque International d'Alger sur l'Histoire des Mathématiques Arabes* (Alger, 1988), 69-98; «Survivance médiévale en Hispanie d'un problème né en Mésopotamie», *Centaurus* 30 (1987), 18-61; «Der *Liber Mahameleth* des Johannes Hispalensis», *XVIIIth International Congress of History of Science. Abstracts* (Hamburg-Munich, 1989), Q2 nº 8.

cias muy vagas acerca del cultivo de la aritmética y de la geometría por Ibn al-Samḥ, por ejemplo, sobre el que dice Ṣāᶜid que escribió un libro sobre la naturaleza del número (*ṭabīᶜat al-ᶜadad*), un comentario -- probablemente con carácter introductorio -- a los *Elementos* de Euclides (*Kitāb al-madjal ilà-l-handasa*), y un gran tratado de Geometría en el que llevó a cabo un estudio exhaustivo de las líneas recta, curva y quebrada. La información de que disponemos es aún más escasa en lo que respecta al álgebra aunque, como señala Djebbar[115], tanto los libros de *muᶜāmalāt*, como los tratados sobre particiones sucesorias y sobre aritmética contenían, sin duda, materiales algebraicos y la obra perdida de los matemáticos andalusíes de esta época ha dejado ciertos restos en la tradición matemática magribí de la Baja Edad Media, lo que abre una posible vía de investigación.

Por otra parte, ya en el terreno de la astronomía, tenemos aquí las primeras referencias concretas a que algunos de estos personajes llevan a cabo observaciones astronómicas: el primero de ellos es, obviamente, el propio Maslama -- de quien nos ocuparemos a continuación -- y le siguen Ibn Bargūṭ (m. 1052) y el discípulo de éste Muḥammad ibn al-Layṭ (m. 1058): Azarquiel mencionará, en su tratado sobre las *Estrellas Fijas*, una determinación de Ibn Bargūṭ de la longitud de la estrella Calbalazada (*Qalb al-Asad*, α Leonis, Régulo)-- que estima en 136;20° --, llevada a cabo en el año 441/1049-50[116]. Subrayaré, finalmente, entre los datos que nos proporciona el cadí Ṣāᶜid la aparición de una serie de referencias al cultivo, por parte de esta escuela de un tipo de astronomía que no es, simplemente, astronomía matemática o una astronomía que pretende calcular las posiciones planetarias recurriendo al cálculo y utilización de tablas astronómicas (*zīŷes*), sino una disciplina que se preocupa, de manera un tanto ingénua, por llegar a conocer la auténtica estructura física del cosmos a la manera de la moderna astrofísica. En efecto, Ṣāᶜid-- que parece haber sido un astrónomo competente -- es extraordinariamente preciso en la terminología que utiliza y, si bien en el caso de Maslama no nos aclara exactamente si habla en este sentido al decir que éste fue mejor conocedor que todos sus predecesores de la

[115] A. Djebbar, «Quelques aspects de l'Algèbre dans la tradition mathématique arabe de l'Occident Musulman», *Premier Colloque International d'Alger...* pp. 101-123 (especialmente pp. 102-106).

[116] J.M. Millás, *Estudios sobre Azarquiel* (Madrid-Granada, 1943-50) p. 309.

«ciencia de las esferas y de los movimientos de los astros» (*ᶜilm al-aflāk wa-ḥarakāt al-nuŷūm*), no ocurre lo mismo con otros muchos autores como Ibn al-Samḥ (m. 1035), Ibn Bargūṯ (m. 1056), al-Wāsiṭī (m. 1045-46?), Ibn al-Ŷallāb (¿vivía aún c. 1069?), y Abū Isḥāq b. Lubb, apodado al-Quwaydis (m. 1062). De todos estos personajes, relacionados directa o indirectamente con la escuela de Maslama, nos dice Ṣāᶜid que cultivaron la «ciencia de la estructura [física] de las esferas» (*ᶜilm hay'at al-aflāk*) juntamente con la que estudia los movimientos de los astros (*ḥarakāt al-nuŷūm*). Los materiales nuevos sobre distancias y tamaños de los planetas que aparecen en el *Kitāb al-hay'a* de Qāsim b. Muṭarrif al que he aludido más arriba dan verosimilitud a estos datos tomados de Ṣāᶜid: la escuela de Maslama debió cultivar una cosmología o «astrofísica» en la tradición ptolemaica.

2.5.2.2 *Maslama, las tablas de al-Jwārizmī y la introducción de la astronomía ptolemaica.*

El fundador de la escuela y, sin duda, el astrónomo más importante de todo el período califal es Abū-l-Qāsim Maslama b. Aḥmad. Madrileño de nacimiento, estudió en Córdoba donde fue discípulo de los matemáticos Abū Ayyūb b. ᶜAbd al-Gāfir b. Muḥammad y Abū Bakr b. Abī ᶜĪsà, del segundo de los cuales Ṣāᶜid nos dice que era asimismo astrónomo[117]. Maslama fue un astrólogo de fama que se interesó por la conjunción de Saturno y Júpiter que tuvo lugar en 397/1006-7 e implicó un cambio de triplicidad ya que se inició en Leo (signo de fuego) y continuó en Virgo (signo de tierra). Conservamos varias interpretaciones astrológicas de esta conjunción y todas están de acuerdo en considerar el acontecimiento como una premonición del fin del Califato y principio del período de anarquía y guerra civil (*fitna*). Maslama, en concreto, predijo un cambio de dinastía, ruina, matanzas y hambre[118] pero no vivió lo suficiente como para poder comprobar lo acertado de su predicción ya que murió en el 398/1007.

[117] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* trad. Blachère pp. 127-128; ed. Bū ᶜAlwān pp. 166-167. Sobre Maslama cf. el artículo fundamental de J. Vernet y M.A. Catalá, «Las obras matemáticas de Maslama de Madrid». E.H.C.M., 241-271.

[118] J. Samsó, «Early Development» pp. 229-230.

Maslama es el primer astrónomo andalusí del que sabemos con certeza que hizo observaciones astronómicas. Azarquiel nos informa de que en el año 369/979 determinó la longitud de Calbalazada, obteniendo como resultado 135;40°, valor que encontramos asimismo en la tabla de estrellas[119] que acompaña a sus notas sobre el *Planisferio* de Ptolomeo -- obra de la que hablaré más adelante --, aunque en este caso referidas al año 367/977. Su máximo prestigio se debe, sin embargo, a su adaptación de las tablas de al-Jwārizmī (fl. c. 830) las cuales, debido a esta circunstancia, reciben frecuentemente la apelación de tablas (*zīŷ*) de al-Jwārizmī-Maslama. Con el fin de hacer entender, en la medida de lo posible, en qué consistió la aportación de Maslama, conviene que resumamos rápidamente la compleja historia textual de este *zīŷ*.

Empecemos por observar que no conservamos el texto original árabe de la obra de al-Jwārizmī pero suponemos que existieron dos redacciones del original y que, probablemente, la recensión mayor iba provista de demostraciones, mientras que la menor carecía de ellas. Fue, probablemente, la recensión menor la introducida en al-Andalus en el siglo IX y sometida a una adaptación por obra de Maslama y de su discípulo Ibn al-Ṣaffār (m. 1034-35) en el X. El texto árabe de la adaptación maslamiana parece también perdido y no conservamos, tampoco, la versión del *Sindhind* que hizo otro discípulo de Maslama, Ibn al-Samḥ (m. 1035). En cambio conservamos un manuscrito, en aljamiado hebraico-árabe, que contiene fragmentos de la versión del *zīŷ* realizada por Ibn al-Ṣaffār[120]. Parece que el *zīŷ* pre-maslamiano fue objeto de una versión latina, realizada por Hermann de Carinthia[121] (c. 1140) pero el texto más completo conocido actualmente

[119] Sobre esta tabla cf. P. Kunitzsch, «Two Star Tables from Muslim Spain», *Journal for the History of Astronomy* 11 (1980), 192-201. Reproducido en el volumen *The Arabs and the Stars*. Variorum Reprints. Northampton, 1989, n° IV.

[120] La edición y estudio de este texto que ha realizado M. Castells ha dado escasos resultados aunque, cuando se publique, permitirá corregir algún error de menor cuantía en nuestra interpretación de ciertos aspectos de la tradición jwārizmiana.

[121] La versión de Hermann no ha sido identificada hasta el momento. R. Mercier señala, en su importante trabajo «Astronomical Tables in the Twelfth Century» (*Adelard of Bath. An English Scientist and Arabist of the Early Twelfth Century* ed. by Ch. Burnett, London, 1987, pp. 87-118) p. 101 que el ms. Paris B.N. latino 16208 contiene, asimismo, una versión latina independiente de las demás conocidas que parece corresponder también a la versión pre-maslamiana del *zīŷ* y está adaptada al meridiano de Toledo.

deriva de la versión de Maslama y es una traducción latina que llevó a cabo Adelardo de Bath (fl. 1116-1142) que, en un manuscrito, aparece revisada por Roberto de Chester. Disponemos, asimismo, de otra traducción, independiente, del árabe a la que, posiblemente, estuvo asociado el judío hispano Pedro Alfonso (fl. a fines del siglo XI y principios del XII)[122]. El texto original árabe de la versión mayor se ha perdido también, aunque sabemos que fue utilizado por el astrónomo toledano Azarquiel (m. 1100), pero conservamos varios comentarios a la misma, el más conocido de los cuales es el del oriental Ibn al-Muṯannà, que debió ser introducido en al-Andalus por ᶜAlī b. Muḥammad b. Ismaᶜīl (m. 987). Conocemos este comentario a través de tres traducciones: una latina debida a Hugo de Santalla (fl. 1119-1151)[123], y dos hebreas de las que una se atribuye a Abraham b. ᶜEzra (c. 1089-1167)[124]. Puede derivarse también información acerca del primitivo *zīŷ* de al-Jwārizmī a través de otros comentarios como el de al-Fargānī (c. 850, perdido pero del que conocemos citas de otros autores), Ibn Masrūr (c. 875, aún manuscrito), y al-Hāšimī (fl. c. 890)[125], y a través de la tradición andalusí posterior en la que sobresale la importancia de la obra de Abraham b. ᶜEzra[126]. Todo lo expuesto hasta aquí puede resumirse en el *Cuadro 2.*

Descrita de este modo la situación de los textos, resulta fácil de entender la enorme dificultad de sajar con precisión en el texto

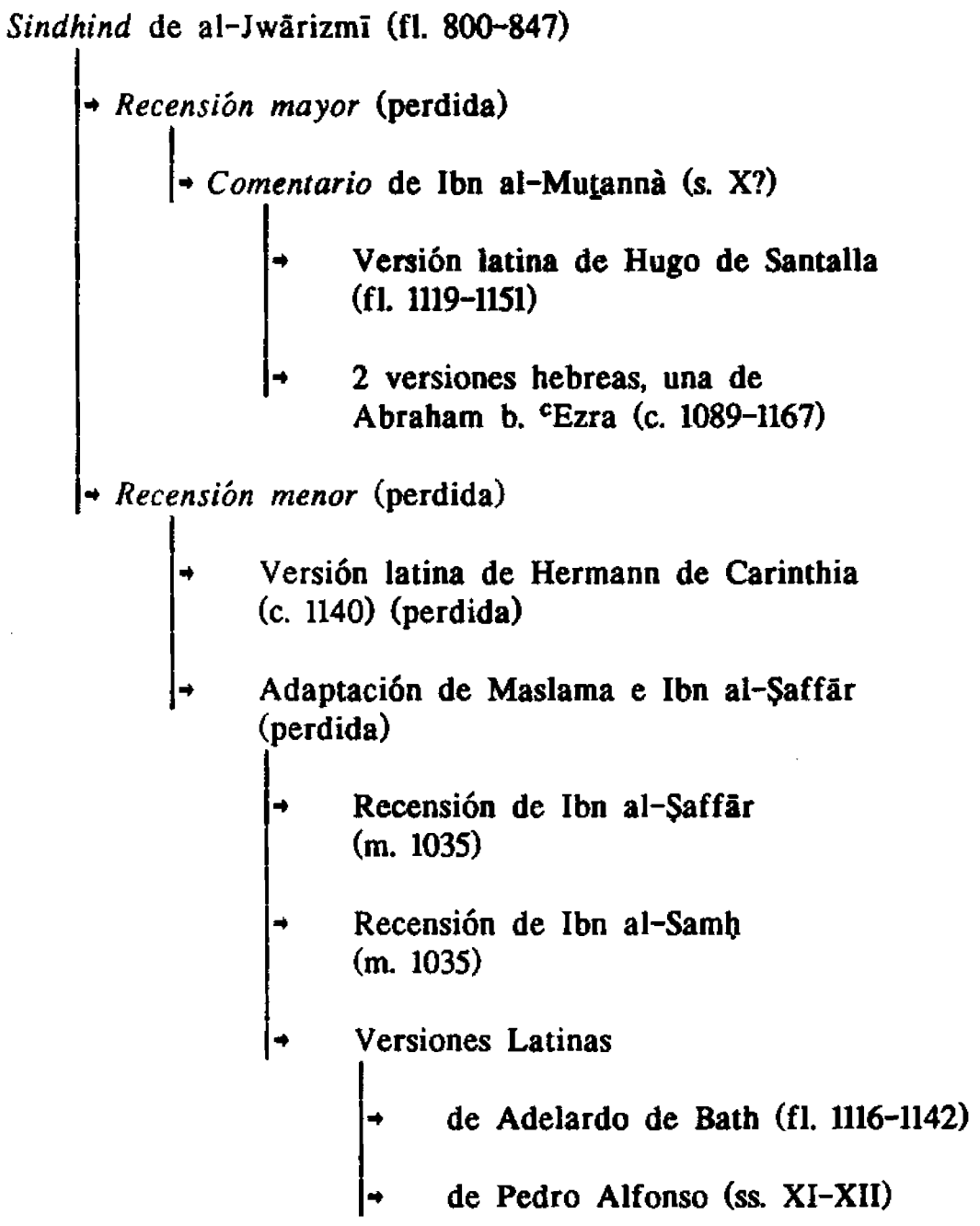
[122] La traducción de A. de Bath fue editada por H. Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muḥammed ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama ibn Aḥmed al-Madjrīṭī und der latein. Uebersetzung des Athelhard von Bath*, Copenague, 1914. Hay traducción inglesa con un importantísimo comentario de O. Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī. Translation with Commentaries of the Latin Version edited by H. Suter supplemented by Corpus Christi College MS 283*, Copenague, 1962. El libro de Neugebauer contiene asimismo edición y traducción de los fragmentos conservados de la versión latina relacionada con Pedro Alfonso. Recientemente se ha descubierto un manuscrito nuevo de esta última versión: cf. Mercier, «Astronomical Tables in the Twelfth C.» pp. 95-96.

[123] E. Millás Vendrell, *El comentario de Ibn al-Muṯannà a las Tablas Astronómicas de al-Juwārizmī. Estudio y edición crítica del texto latino en la versión de Hugo Sanctallensis*, Madrid-Barcelona, 1963.

[124] B.R. Goldstein, *Ibn al-Muthannā's Commentary on the Astronomical Tables of al-Khwārizmī*, New Haven, 1967.

[125] F.I. Haddad, E.S. Kennedy y D. Pingree, *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables (Kitāb fi ᶜilal al-zījāt) by ᶜAlī ibn Sulaymān al-Hāshimī*. Nueva York, 1981.

[126] J. M. Millás Vallicrosa, *El libro de los fundamentos de las tablas astronómicas de R. Abraham ibn ᶜEzra*, Barcelona, 1947.


Sindhind de al-Jwārizmī (fl. 800-847)
Recensión mayor (perdida)
Comentario de Ibn al-Muṯannà (s. X?)
Versión latina de Hugo de Santalla (fl. 1119-1151)
2 versiones hebreas, una de Abraham b. ᶜEzra (c. 1089-1167)
Recensión menor (perdida)
Versión latina de Hermann de Carinthia (c. 1140) (perdida)
Adaptación de Maslama e Ibn al-Ṣaffār (perdida)
Recensión de Ibn al-Ṣaffār (m. 1035)
Recensión de Ibn al-Samḥ (m. 1035)
Versiones Latinas
de Adelardo de Bath (fl. 1116-1142)
de Pedro Alfonso (ss. XI-XII)

Cuadro 2

básico -- la traducción de Adelardo de Bath -- con el fin de determinar en él qué corresponde a al-Jwārizmī y qué corresponde a Maslama y a sus colaboradores. En el *zīŷ* se ha podido determinar la existencia de tres tipos de materiales que corresponden a las tradiciones indo-irania, greco-árabe e hispánica. Cabría, en principio, creer que los materiales indo-iranios corresponden al *zīŷ* primitivo de al-Jwārizmī, pero esto no resulta siempre cierto. Un ejemplo claro lo constituyen las tablas de movimientos medios del sol, luna y planetas, en las que los parámetros básicos son de origen indio y derivan del *Brāhmasphuṭasiddhānta* de Brahmagupta (s. VII) en la versión transmitida por el astrónomo oriental al-Fazārī (fl. c. 750), según ha demostrado Mercier. No obstante, la presentación formal de las tablas ha sufrido una modificación importante que la tradición atribuye a Maslama. En efecto, las tablas primitivas utilizaban años persas de 365 días sin fracción y la fecha *radix* para el cómputo de movimientos medios era el principio de la era del último monarca sasánida, Yezdeguerd III (16.6.632). En cambio las tablas que se nos han conservado utilizan el año lunar musulmán (de 354 o 355 días) y la fecha *radix* es el principio de la Hégira (mediodía del 14.7.622). Se atribuye, asimismo, un origen indio tanto a las tablas de eclipses como a las que sirven para calcular las latitudes planetarias pero en ambos casos parece que pueden haberse producido intervenciones de Maslama lo cual, en el segundo caso, no ha dado lugar a resultados particularmente brillantes ya que ciertas modificaciones introducidas en la regla originaria (que parece relacionada directamente con al-Jwārizmī) motivan un cálculo de latitudes que resultan aproximadamente dobles de lo que debieran ser[127].

Nos encontramos en una situación similar a la anterior cuando consideramos la parte del *zīŷ* sometida a influencia ptolemaica: por una parte, al-Jwārizmī es contemporáneo del califa ᶜabbāsí al-Ma'mūn (813-833) y vive, por consiguiente, en una época en la que Oriente conoce perfectamente tanto el *Almagesto* como las *Tablas Manuales*; por otra, se tiene, a veces, la impresión -- con mayor o menor fundamento -- de que los materiales originales pueden haber sido alterados y haber sufrido interpolaciones debidas a Maslama y/o

[127] D. Pingree, «The Indian and Pseudo-Indian Passages in Greek and Latin Astronomical and Astrological Texts», *Viator* 7 (1976), 165-168; E.S. Kennedy y W. Ukashah, «Al-Khwārizmī's Planetary Latitude Tables» S.I.E.S., 125-135; cf. también la recensión de G.J. Toomer de la traducción y comentario de O. Neugebauer a las tablas de al-Jwārizmī en *Centaurus* 10 (1964), 205-206.

a algún otro autor. La interpolación parece clara, por ejemplo, en las tablas de ascensiones rectas ya que éstas no se corresponden bien con los cánones en los que se explica su uso. La posible intervención de Maslama en la introducción de material ptolemaico puede haberse dado asimismo en la parte trigonométrica del *zīŷ*. Este contiene tablas de senos, senos versos (*vers A = R -cos A*) y sombras calculadas para un gnomon de 12 dígitos (*S (h) = 12 cotg h*). Llama la atención el que, en la tabla de senos, calculada de grado en grado, el valor del radio utilizado sea 60 y el que la mencionada tabla sea, simplemente, el resultado de dividir por dos la tabla de cuerdas del *Almagesto*, de acuerdo con la expresión *sen A = 1/2 cuerda 2 A*. Ahora bien, sabemos por Ibn al-Muṯannà que el valor del radio utilizado por al-Jwārizmī en su tabla de senos era 150 y una tabla de estas características se encuentra dentro de las *Tablas de Toledo*. Es posible pues que, tal como señala Millás Vendrell, la introducción de esta tabla ptolemaica se deba a Maslama.

Nuestro autor, junto con sus colaboradores y, posiblemente, la tradición hispánica posterior, debió introducir ciertas modificaciones en el *zīŷ* que nos permiten hablar de la existencia en él de materiales hispánicos. Así tenemos, en la parte cronológica, la alusión a la Era Hispánica, que corresponde a 38 años antes de la Encarnación, y la referencia a que el día suplementario en los años bisiestos se añade al final de Diciembre, que tendrá 31 días en los años comunes y 32 en los bisiestos. Esta costumbre está bien documentada en los textos hispánicos los cuales suelen atribuirla a los mozárabes: puede verse, como ejemplo, el pasaje correspondiente en el *Calendario de Córdoba*[128] que afirma que es hábito propio de los *ᶜaŷam* (los no árabes, los que hablan romance) frente a los sirios que intercalan en Febrero. No puede, en mi opinión, tomarse al pie de la letra la afirmación de Abraham b. ᶜEzra quien generaliza tal costumbre a los «christiani in terra sarracenorum»[129].

Por otra parte, según ha demostrado M. Comes[130], es posiblemente andalusí otro rasgo que encontramos en el *zīŷ* de al-Jwāriz-

[128] Ed. Dozy-Pellat pp. 16-17.

[129] Neugebauer, *Astronomical Tables of al-Khwārizmī* pp. 11-13 y 224 n. 25.

[130] M. Comes, «The "Meridian of Water" in the Tables of Geographical Coordinates of al-Andalus and North Africa», *XVIII International Congress of History of Science. Abstracts* (Hamburgo-Munich, 1989), P2 nº 1. Una versión completa de este trabajo se encuentra en curso de publicación en el *Journal for the History of Arabic Science*.

mī-Maslama. Se trata de una corrección a la diferencia en longitud entre Arín y Córdoba que aparece también documentada en una fuente ligeramente anterior: un horóscopo fechado en 940 y elaborado en Córdoba que fue añadido, como apéndice, a la versión que circulaba por al-Andalus del *Liber Universus* de ᶜUmar b. Farrujān, y que fue objeto de una versión latina[131]. En ambas fuentes existe una diferencia horaria de 4;12ʰ, equivalentes a 63° de diferencia en longitud, con respecto al meridiano origen. Se ha interpretado, habitualmente, que esta diferencia corresponde a la existente entre Bagdad y Córdoba[132] cuando, en realidad, el meridiano origen utilizado es el de Arín: 63° para Arín-Córdoba implican una diferencia de 27° entre Córdoba y el meridiano origen occidental (una longitud geográfica frecuente en tablas de tradición magribí) en lugar de los 9;20° que habitualmente encontramos en las tablas geográficas de tradición ptolemaica, que utilizan el meridiano de las Islas Afortunadas[133] y esto, a su vez, implica un desplazamiento hacia el Oeste del meridiano occidental de 17;40°, prácticamente idéntico a los 17;30° que se encuentran en las *Tablas de Toledo* y fuentes posteriores: este desplazamiento acabará creando la noción de un «meridiano de agua» situado a 17;30° al Oeste de las Islas Afortunadas.

Es muy probable, por otra parte que Maslama adaptara ciertas tablas del *zīŷ* a las coordenadas de Córdoba. Conservamos tablas de estas características como, por ejemplo, las que permiten calcular la conjunción y oposición de la Luna y el Sol que, sin duda, se encontraban en el original de al-Jwārizmī ya que, aunque está ajustada al meridiano de Córdoba, utiliza un parámetro de origen indio (la duración del mes sinódico: 29;31,50,5,43,22...días). Algo similar sucede con las tablas para el movimiento medio del nodo ascendente de la Luna, que contienen una tabla suplementaria para el mediodía de Córdoba y para el período comprendido entre los años 360/960 y 570/1174. Igualmente es frecuente la presencia de material espurio en las tablas de carácter astrológico: para dar un solo ejemplo, un quinto de las tablas numéricas del *zīŷ* se ocupan del tema de la proyección de rayos y parecen una adición de Maslama ya que están calculadas para una latitud de 38;30° y dado que el astrólogo Ibn Hibintā (fl.

[131] D. Pingree, «The "Liber Universus" of ᶜUmar Ibn al-Farrukhān al-Ṭabarī», *Journal for the History of Arabic Science* 1 (1977), 8-12.

[132] Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī* pp. 110-111.

[133] E.S. y M.H. Kennedy, *Geographical Coordinates*, p. 95.

Bagdad c. 850) nos conserva en una obra suya las tablas originales de al-Jwārizmī que nada tienen que ver con las que aparecen en el *zīŷ* latino publicado[134]. La estructura matemática de las tablas que atribuimos a Maslama ha sido aclarada recientemente por Hogendijk[135], el cual ha mostrado la habilidad de que hace gala nuestro astrónomo a la hora de resolver un difícil problema trigonométrico y señala que las tablas de Maslama constituyen una clara mejora con relación a las de al-Jwārizmī ya que son más sencillas de utilizar y dan resultados exactos en ciertos procesos del cálculo en los que las tablas orientales se limitaban a dar aproximaciones.

En otros casos las modificaciones e interpolaciones no parece que deban atribuirse a Maslama sino a la tradición hispánica posterior. Uno de ellos, aclarado también por Hogendijk[136], es el de la tabla para calcular la visibilidad de la luna nueva. Basada en una teoría india de la visibilidad, está calculada para una oblicuidad de la eclíptica de 23;35° y una latitud de 41;35°, lo que constituye una buena aproximación a los 41;30° que varias fuentes islámicas atribuyen a Zaragoza[137]: dado el desarrollo que tuvieron las ciencias exactas en esta capital en el siglo siguiente, cabe pensar — como hace Hogendijk — que esta tabla constituye una interpolación introducida tardíamente en el *zīŷ* de al-Jwārizmī-Maslama.

La labor realizada por Maslama con el *zīŷ* de al-Jwārizmī debió, pues, ser considerable e implica, por parte de nuestro astrónomo, una notable madurez ya que fue capaz de asimilar la teoría subyacente a estas tablas astronómicas, de adaptarla a sus propias coordenadas geográfico-culturales, y de introducir novedades en las mismas. Pese a ello, recordemos que el *zīŷ* de al-Jwārizmī, elaborado en torno al 830, constituía, ya en su tiempo, un anacronismo ya que se basaba en las doctrinas astronómicas indo-iranias las cuales, a su

[134] E.S. Kennedy y H. Krikorian-Preisler, «The Astrological Doctrine of Projecting the Rays», S.I.E.S., pp. 151-156.

[135] J.P. Hogendijk, «The Mathematical Structure of Two Islamic Astrological Tables for "Casting the Rays"», *Centaurus* 32 (1989), 171-202.

[136] J.P. Hogendijk, «Three Islamic Lunar Crescent Visibility Tables», *Journal for the History of Astronomy* 19 (1988), 29-44 (cf. especialmente pp. 32-35); el tema había sido estudiado previamente por E.S. Kennedy y M. Janjanian, «The Crescent Visibility Table in al-Khwārizmī's Zīj» en S.I.E.S., 151-156, y por D.A. King, «Some Early Islamic Tables for Determining Lunar Crescent Visibility» en *From Deferent to Equant* pp. 189-192.

[137] E.S. y M.H. Kennedy, *Geographical Coordinates* p. 305.

vez, derivaban de la astronomía griega pre-ptolemaica, introducida en la India e Irán en un momento y circunstancias poco claras. A este hecho parece aludir Ṣāᶜid de Toledo cuando señala que Maslama perpetuó los errores de al-Jwārizmī y no advirtió de los lugares en los que éstos aparecían[138]. Uno de estos «errores» era, sin duda, el que, con las tablas de al-Jwārizmī se computan posiciones sidéreas y no trópicas y que, en el *zīŷ* mencionado, no aparecen ni tablas ni instrucciones que permitan convertir las posiciones sidéreas en trópicas bien sea mediante una precesión constante bien aplicando la teoría de la trepidación. Esta particularidad debía irritar, particularmente, a Ṣāᶜid de Toledo el cual, como veremos (§ 3.3.6), parece haber representado un papel de protagonista en la introducción y desarrollo en al-Andalus de la teoría de la trepidación.

De algún modo Maslama debió ser consciente del anacronismo en el que incurrían las tablas de al-Jwārizmī y de que cuando éste las compiló, durante el reinado del califa ᶜabbāsí al-Ma'mūn, se llevaban a cabo simultáneamente las tablas ma'mūníes, que implicaban la introducción en el mundo islámico de los métodos de cálculo ptolemaicos que imperaron en lo sucesivo y que cultivó brillantemente al-Battānī. Ptolomeo y al-Battānī debieron introducirse en al-Andalus en la segunda mitad del siglo X y Maslama debió ser uno de los pioneros en el trabajo de asimilación de la nueva astronomía ya que Ṣāᶜid nos señala que «se esforzó por entender el libro de Ptolomeo denominado *Almagesto* y [...] escribió un libro en el que resumió las ecuaciones de los planetas según el *zīŷ* de al-Battānī». Nada sabemos acerca de la labor de Maslama realizada a partir del *Almagesto* pero resulta evidente que esta obra era bien conocida por la escuela de Maslama, cuyos intereses no se limitaban al *Sindhind*: su discípulo Ibn al-Ṣaffār menciona la *Geografía* de Ptolomeo en su tratado sobre el uso del astrolabio y un manuscrito latino, relacionado con la labor traductora llevada a cabo probablemente en el siglo X en el monasterio de Ripoll, da una estructuración de los climas de la tierra que puede proceder tanto del *Almagesto* como de la *Geografía*[139]; hemos mencionado ya, por otra parte, que el *Kitāb al-hay'a* de Qāsim b. Muṭarrif (§ 2.5.1) da testimonio de la introducción indirecta de las ideas cosmológicas de Ptolomeo expuestas en las *Hipótesis Planetarias*

[138] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān p. 169; trad. Blachère p. 130.

[139] R. Martí y M. Viladrich, «Las tablas de climas en los tratados de astrolabio del manuscrito 225 del "scriptorium" de Ripoll», *Llull* 4 (1981), 117-122.

y, por otra parte, Ibn Jaldūn nos informa de que Ibn al-Samḥ había escrito un resumen del *Almagesto*[140]. En lo que respecta a al-Battānī, no conservamos el libro de Maslama derivado del *zīŷ* del gran científico sirio, aunque la edición de Nallino contiene media docena de tablas atribuidas a nuestro astrónomo que son, probablemente, falsas[141]. De todas formas parece claro que también la escuela de Maslama conocía la obra de al-Battānī ya que el tratado de Ibn al-Samḥ sobre la construcción del ecuatorio -- del que hablaré en § 2.5.2.4 -- deriva las longitudes de los apogeos planetarios del *zīŷ* de este astrónomo y utiliza excentricidades y radios de los epiciclos que tanto pueden derivar de al-Battānī como del *Almagesto* de Ptolomeo.

2.5.2.3 *Los tratados sobre el astrolabio.*

Dentro de su interés por la obra de Ptolomeo, Maslama elaboró una recensión del *Planisferio* del astrónomo griego. Dado que en su tiempo se encontraba en Córdoba el monje bizantino Nicolás dedicado --junto con un grupo de médicos cordobeses -- a revisar la traducción árabe de la *Materia Médica* de Dioscórides (§ 2.6.1), se ha sugerido que Maslama pudo conocerlo, aprender griego y traducir el *Planisferio*[142]. Puede suponerse también que su labor consistió en revisar una traducción árabe oriental a la que añadió comentarios. No conservamos el original griego de esta obra y la cuestión no podrá resolverse de manera definitiva hasta que se haya llevado a cabo un estudio sistemático de todos los materiales disponibles que son: 1) la versión maslamiana del *Planisferio* en una traducción latina de Hermann el Dálmata (1143)[143] y en una traducción hebrea; 2) una versión árabe, ¿anterior a Maslama?, que se conserva manuscrita[144];

[140] Ibn Jaldūn, *Muqaddima*, ed. Beirut, 1961, p. 906.

[141] C.A. Nallino, *Al-Battānī sive Albatenii Opus Astronomicum*. Milán, 1907 (reimpr. Frankfurt, 1969) II, 300-301 por ejemplo.

[142] Vernet-Catalá, «Las obras matemáticas de Maslama de Madrid», E.H.C.M., 243-244.

[143] J. Drecker, «Das Planisphaerium des Claudius Ptolemaeus», *Isis* 9 (1927), 255-278.

[144] G.J. Toomer, «Ptolemy», DSB XI (Nueva York, 1975), 205.

3) los comentarios de Maslama que han sido editados y traducidos parcialmente[145].

El *Planisferio* de Ptolomeo es un tratado sobre la proyección estereográfica en la que se basa el astrolabio convencional, un computador analógico que era, sin duda, el instrumento de cálculo más utilizado por astrónomos y astrólogos. El astrolabio es, en cierto modo, un antecesor de la regla de cálculo y de las calculadoras de bolsillo modernas ya que, con él, podían resolverse gráficamente, y de manera sencilla y rápida, problemas de astronomía y astrología esférica así como todas las cuestiones relativas al movimiento del sol y de las estrellas fijas. Como tal instrumento, debía ser conocido y utilizado en al-Andalus al menos desde mediados del siglo IX (hemos visto, en § 2.2, a Ibn al-Šamir utilizar un astrolabio para realizar la predicción que le solicita ᶜAbd al-Raḥmān II) pero no parece haber surgido un interés teórico por el mismo hasta el momento en el que surgen los comentarios de Maslama al *Planisferio*, que constituyen el punto de partida de una larga serie de tratados andalusíes sobre el tema. En estos comentarios, Maslama se propone completar la obra del astrónomo griego añadiendo a la misma una serie de procedimientos de trazado enteramente nuevos y de su propia invención. Los resultados que obtiene son brillantes ya que nuestro autor describe: tres procedimientos nuevos para dividir la eclíptica del astrolabio (Ptolomeo da otros dos); otros tres procedimientos para dividir la proyección del horizonte, análogos a los que ha expuesto para la eclíptica, y que llenan un vacío del *Planisferio*; tres procedimientos para proyectar en el astrolabio las estrellas fijas de la araña, utilizando coordenadas eclípticas, ecuatoriales y horizontales. En la segunda parte de la obra, Maslama utiliza la única herramienta trigonométrica de que dispone para la resolución de triángulos esféricos rectángulos: el teorema de Menelao sobre el que había escrito unas notas que conservamos en una traducción latina[146]. Se ocupa, asimismo, de la determinación de la ascensión recta del principio de cada signo zodiacal, utilizando un procedimiento análogo al expuesto, con anterioridad, para dividir el horizonte partiendo de las ascensiones rectas; de la determinación de la declinación de un astro; del

[145] Vernet-Catalá, «Las obras matemáticas de Maslama de Madrid», E.H.C.M., 22-45.

[146] A. Björnbo y H. Suter, «Thābits Werk über den Transversalensatz (Liber de figura sectore)», Erlangen, 1924, pp. 23-24, 39, 79, 83.

grado con el que un astro culmina en el cielo (utiliza fórmulas de al-Battānī); del grado de la eclíptica que sale o se pone simultáneamente con un astro. Da, por último, una tabla que permite calcular el arco de círculo vertical comprendido entre el ecuador y el horizonte para una latitud de 38;30° (Córdoba), mientras que en la primera parte de su obra trabaja con una latitud de 39°.

Estos comentarios de Maslama al *Planisferio* no constituyen, en modo alguno, un tratado sobre la construcción del astrolabio pero influyeron, sin duda, los tratados andalusíes sobre el tema. Conviene subrayar, a este respecto, el tratado de construcción y uso atribuido, hasta hace muy poco, al judío iraquí Maša'allāh (s. VIII) conservado únicamente en traducción latina. Este texto es, tal vez, el tratado sobre astrolabio más popular en la Europa medieval y fue la fuente del tratado sobre el mismo tema redactado, en inglés, por Geoffrey Chaucer (1340?-1400) para la educación de su hijo Lewis. Recientemente Paul Kunitzsch ha demostrado que el mencionado tratado es, en realidad, una compilación realizada en el siglo XIII que nada tiene que ver con Maša'allāh[147]. Por más que los elementos utilizados en la mencionada compilación tienen un carácter heterogéneo, existe un sector de la misma que, sin duda ninguna, se relaciona con los nuevos procedimientos de trazado expuestos por Maslama en su comentario al *Planisferio*. Estos procedimientos reaparecen, por otra parte, en el tratado alfonsí sobre la construcción del astrolabio llano en el cual una serie de capítulos se corresponden literalmente con otra serie análoga del seudo-Maša'allāh, hasta el punto de que un texto parece traducción del otro[148]. Más oscura resulta, en cambio,

147 P. Kunitzsch, «On the authenticity of the treatise on the composition and use of the astrolabe ascribed to Messahalla», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 31 (1981), 42-62. Reimpreso en *The Arabs and the Stars*. Variorum Reprints. Northampton, 1989. N° X. Sobre la introducción en la Europa Latina de los primeros tratados de astrolabio cf. W. Bergmann, «Innovationen im Quadrivium des 10. und 11 Jahrhunderts. Studien zur Einführung von Astrolab und Abakus im Lateinischen Mittelalter». *Sudhoffs Archiv. Zeitschrift für Wissenschaftgeschichte* 26 (1985), 1-258.

148 Cf. M. Viladrich, «On the Sources of the Alphonsine Treatise Dealing with the Construction of the Plane Astrolabe», *Journal for the History of Arabic Science* 6 (1982), 167-171; J. Samsó, «Maslama al-Majrīṭī and the Alphonsine Book on the Construction of the Astrolabe», J.H.A.S. 4 (1980), 3-8; M. Viladrich y R. Martí, «En torno a los tratados hispánicos sobre construcción de astrolabio hasta el siglo XIII», T.E.A.E.S.XIII, 79-99; M. Viladrich, «Dos capítulos de un tratado de astrolabio en un pergamino del Monasterio de Santa María de Pedralbes», O.E.Y.A.F. pp. 239-246.

la cuestión de la influencia de Maslama en los tratados sobre el astrolabio conservados en el manuscrito 225 de Ripoll cuyas fuentes árabes siguen siendo confusas por más que, recientemente, se haya identificado una de ellas en un tratado inédito sobre este instrumento debido a al-Jwārizmī[149]. El hecho de que tanto Millás[150] como Kunitzsch se hubieran mostrado de acuerdo en la existencia de claras similitudes entre los textos de Ripoll y los tratados del pseudo-Maša'allāh hizo concebir esperanzas en este sentido una vez demostrada la existencia de una relación entre este último y Maslama. Los parentescos documentados son, no obstante, escasos y se reducen a las tablas de coordenadas estelares que aparecen en ambos textos que dan valores aproximadamente iguales para las mediaciones de las estrellas, entendiéndose por mediación el grado de la eclíptica que culmina con la estrella en cuestión. El descubrimiento, por M. Viladrich, de dos capítulos del tratado perdido de Ibn al-Samḥ sobre la construcción del astrolabio[151] ha añadido un segundo indicio ya que uno de los métodos de proyección de una estrella en la red del astrolabio expuestos por Maslama utiliza su mediación y su declinación. Ahora bien, Ibn al-Samḥ presenta, de forma muy semejante a uno de los textos de Ripoll, una variante al respecto ya que utiliza la ascensión recta de la mediación de la estrella juntamente con su declinación.

El interés de Maslama por el astrolabio se hizo sentir en la obra de sus discípulos Ibn al-Ṣaffār e Ibn al-Samḥ. El primero es el autor de un breve tratado sobre el uso del mismo, de un carácter muy práctico, que gozó por esta causa de gran popularidad tanto en el mundo árabe como en el latino[152]. Ibn al-Samḥ, por su parte, además de escribir un tratado sobre la construcción del instrumento al que

149 P. Kunitzsch, «Al-Khwārizmī as a Source for the Sententiae astrolabii», *From Deferent to Equant* pp. 227-236. Reimpreso en *The Arabs and the Stars* nº IX.

150 J.M. Millàs, *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval*, Barcelona, 1931.

151 M. Viladrich, «Dos capítulos de un libro perdido de Ibn al-Samḥ». *Al-Qanṭara* 7 (1986), 5-11.

152 J.M. Millás, «Los primeros tratados de astrolabio en España», *Revista del Instituto de Estudios Islámicos* 3 (1955), 35-49 (de la sección española) y 47-76 (de la sección árabe, donde edita el tratado de Ibn al-Ṣaffar); hay traducción catalana de este tratado en Millás, *Assaig* págs. 29-48. Sobre los tratados de uso del astrolabio en la España Medieval y la importancia de la escuela de Maslama cf. R. Martí y M. Viladrich, «En torno a los tratados de uso del astrolabio hasta el siglo XIII en al-Andalus, la Marca Hispánica y Castilla». N.E.A.E.S.A.X, 9-74.

ya he aludido, es autor de un extenso libro sobre el uso del mismo, dividido en 129 capítulos. Dada su prolijidad, este texto no tuvo la fama del de su condiscípulo Ibn al-Ṣaffār pero tiene un evidente interés no sólo por ser, probablemente, el tratado más completo sobre el tema que se escribió en al-Andalus y en la España cristiana durante la Edad Media, sino sobre todo por el carácter atípico de algunos de sus capítulos en los que se ocupa de cuestiones poco comunes en relación con este instrumento. Me refiero a la aplicación del astrolabio a cuestiones relacionadas con la luna (determinación de su latitud y longitud, del grado de la eclíptica que sale o se pone con este astro, de la visión de la luna nueva etc.). Ahora bien, estos capítulos atípicos los atribuye Ibn al-Samḥ a un tal Ḥanaš en el cual debe reconocerse, sin duda, al célebre astrónomo oriental Ḥabaš al-Ḥāsib (fl. 835) y proceder de un tratado sobre el astrolabio de este autor que no parece estar documentado en otras fuentes. Tengamos en cuenta que Ḥabaš es uno de los astrónomos árabes más importantes del siglo IX, relacionado directa o indirectamente con las observaciones patrocinadas por el califa al-Ma'mūn, y que las citas de Ibn al-Samḥ constituyen el primer indicio conocido de la difusión en al-Andalus de su obra. Por otra parte, este tratado constituye un indicio suplementario del interés que despertaron en la escuela de Maslama las tablas astronómicas de al-Battānī ya que, para construir el calendario zodiacal situado al dorso del instrumento, nos da la longitud del sol (calculada con una aproximación de medio grado) los días 1 y 15 de cada mes del año juliano y se comprueba que las mencionadas posiciones pueden haber sido calculadas con el *zīŷ* de al-Battānī[153]. Finalmente, hay que señalar que este tratado de Ibn al-Samḥ fue, sin duda, conocido por los colaboradores del rey Alfonso X ya que, tal como descubrió M. Viladrich[154], constituye la fuente del libro alfonsí sobre el astrolabio esférico, un instrumento muy distinto al astrolabio llano del que me estoy ocupando ya que, mientras el astrolabio llano resulta de la proyección de la esfera celeste sobre un plano, siendo -- en lo fundamental -- un instrumento de dos dimensiones, el astrolabio esférico resulta básicamente de la superposición de una araña móvil (en la que se encuentran los ín-

[153] M. Viladrich, *El «Kitāb al-ᶜamal bi-l-asṭurlāb» (Llibre de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samḥ. Estudi i traducció.* Barcelona, 1986.

[154] M. Viladrich, «Una nueva evidencia de materiales árabes en la astronomía alfonsí», *De Astronomia Alphonsi Regis* (Barcelona, 1987), 105-116.

dices correspondientes a las posiciones de un cierto número de estrellas fijas, así como un círculo que representa la eclíptica y otro que representa el ecuador o un paralelo al mismo) sobre una esfera celeste, siendo por consiguiente un instrumento de tres dimensiones. Ahora bien, cualquier tratado sobre el astrolabio llano es, en último término, un manual de astronomía esférica elemental y los usos del astrolabio esférico y del llano son, en lo esencial, los mismos pudiendo hacerse fácilmente una adaptación de unos a otros. Esto es, sin duda, lo que llevaron a cabo los astrónomos alfonsíes: no disponiendo de un texto árabe adecuado sobre el astrolabio esférico que pudieran traducir al castellano, tomaron el texto de Ibn al-Samḥ y llevaron a cabo una adaptación al nuevo instrumento (cf. Figs. 6 y 7).

2.5.2.4 *Otros instrumentos astronómicos: cuadrantes solares y ecuatorios.*

Los más antiguos cuadrantes solares andalusíes conservados son, probablemente, del siglo X. De entre las ocho piezas conservadas[155], pueden considerarse de esta época el cuadrante solar cordobés atribuido explícitamente a Ibn al-Ṣaffār, los tres instrumentos procedentes del llamado «patio de los relojes» de Medina Azara[156], y una nueva pieza cordobesa descubierta recientemente por A. Labarta y C. Barceló, probablemente de fines del siglo IX o principios del X ya que sitúa la entrada del sol en Scorpio el 18 de Octubre y en Sagitario el 16 de Noviembre, lo que se ajusta bien a lo que podemos

[155] Cf. D. King, «Three Sundials from Islamic Andalusia», *Journal for the History of Arabic Science* 2 (1978), 358-392. Véanse fotografías en el catálogo *Instrumentos astronómicos en la España Medieval. Su influencia en Europa.* Santa Cruz de la Palma, 1985, págs. 126-133. C. Barceló y A. Labarta, «Ocho relojes de sol hispano-musulmanes», *Al-Qanṭara* 9 (1988), 231-247; J. Carandell, «Dos cuadrantes solares andalusíes de Medina Azara», *Al-Qanṭara* 10 (1989), 329-342; D.A. King, «Los cuadrantes solares andalusíes», *L.C.E.* pp. 89-102.

[156] Deben ser forzosamente anteriores a la destrucción del palacio que se inició en 1010 y se completó durante el califato de Muḥammad III al-Mustakfī (1024-1025): L. Torres Balbás, «Arte hispano-musulmán hasta la caída del Califato de Córdoba» en *Historia de España* dirigida por R. Menéndez Pidal V (Madrid, 1957), 427.

Fig. 6

Astrolabio esférico construido por un artesano oriental llamado Mūsà en 1480. Se conserva en el Museum of the History of Science (Oxford).

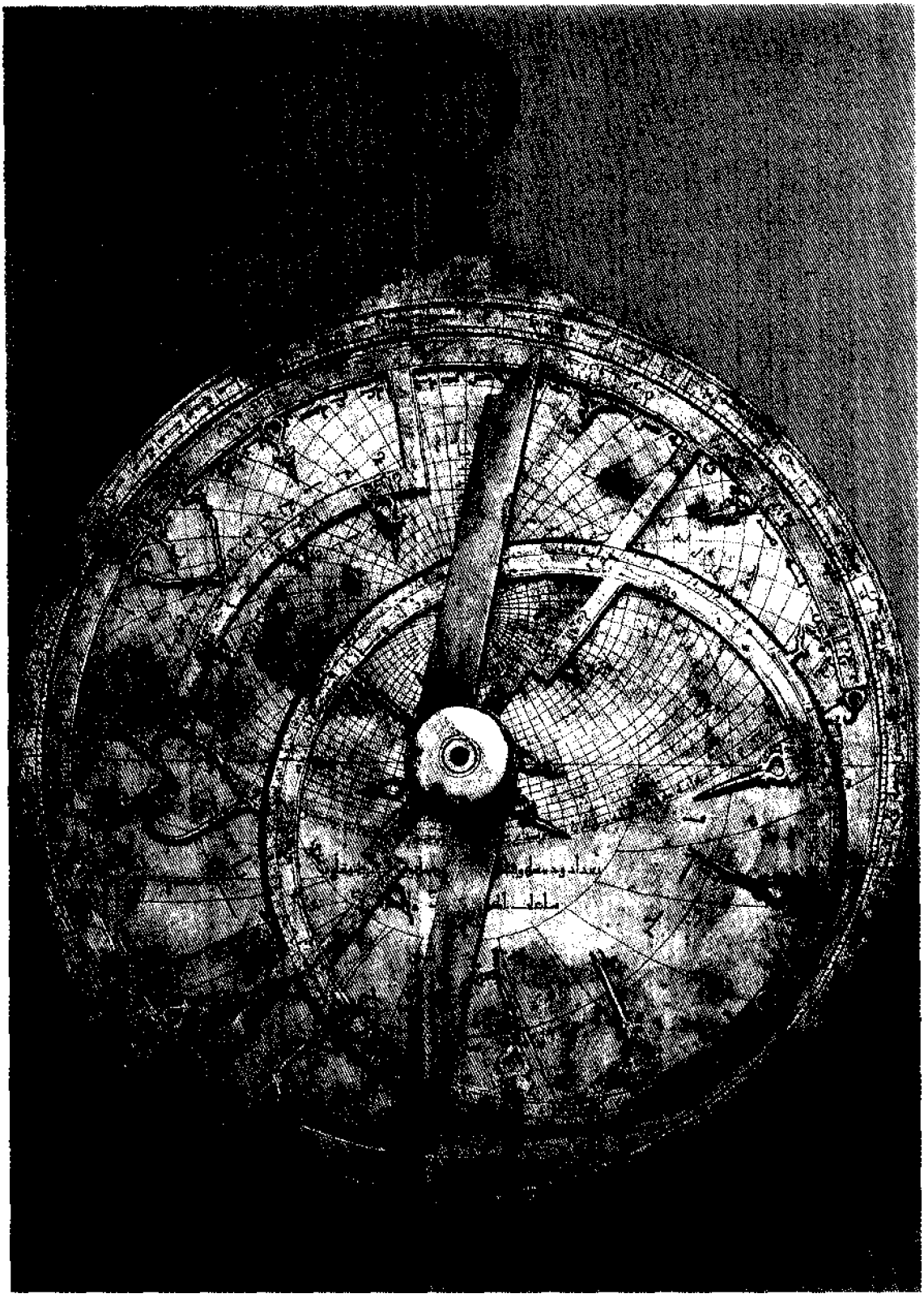


Fig. 7

Faz del astrolabio llano construido por el artesano andalusí Ibrāhīm b. Sa^{c}īd al-Sahlī en 1067 y conservado en el Museo Arqueológico Nacional (Madrid).

obtener con las tablas de al-Battānī para esta época[157]. Todo ello indica el nacimiento, en esta época, de un interés por este tipo de instrumentos al que no es ajena, quizás, la escuela de Maslama. La atribución de una de las piezas a Ibn al-Ṣaffār (Fig. 8) resulta significativa al respecto. Todos los cuadrantes solares conservados responden al mismo tipo (cuadrante horizontal), en el cual la sombra proyectada por el sol en los solsticios incide en dos arcos de hipérbola, mientras que la que recorre en los equinoccios es una línea recta. Ahora bien, la mayor parte de estos instrumentos constituyen aproximaciones un tanto burdas en las que los arcos de hipérbola han sido sustituidos por líneas quebradas y esto, junto con otros detalles, llama particularmente la atención en la pieza atribuida a Ibn al-Ṣaffār ya que resulta difícil hacer compatible la escasa calidad del instrumento con la categoría de este astrónomo: es posible, por ello, que se trate de un cuadrante construido «a la manera de Ibn al-Ṣaffār» por un artesano poco escrupuloso. Por otra parte es posible que este autor se interesara por estos instrumentos ya que el *Kitāb al-asrār fī natā'iŷ al-afkār* de Aḥmad o Muḥammad b. Jalaf al-Murādī (§ 4.2) le atribuye un pequeño texto en el que describe un cuadrante solar de distinto tipo al horizontal mencionado hasta ahora[158]: de hecho, en el caso de que sea correcta la atribución a Ibn al-Ṣaffār, está claro que éste la toma de una fuente anterior ya que el mismo texto, con pequeñas variantes, aparece en el *Kitāb al-hay'a* de Qāsim b. Muṭarrif al-Qaṭṭān[159]. Ninguna de las dos descripciones resulta excesivamente clara, pero se trata de un cuadrante -- denominado *balāṭa*-- en el que se han trazado líneas horarias en dos sectores, uno de los cuales medirá las horas anteriores al mediodía y el segundo las posteriores. Estas líneas son, probablemente, radios de un círculo, y los textos explicitan que en cada uno de los «puntos de reunión de las horas» (centros) están situados los dos estilos. Los textos no explicitan que los mencionados radios deban marcar intervalos iguales de 15° cada uno y podría conjeturarse que

[157] Acepto la sugerencia de D. King y adelanto en un siglo la fecha que apunté, en su día, a A. Labarta: cf. C. Barceló y A. Labarta, «Ocho relojes» p. 242.

[158] Editado por King, «Three Sundials» pp. 387-388.

[159] Ms. Carullah fol. 319r. Cf. J. Casulleras, «Descripciones de un cuadrante solar atípico en el Occidente Musulmán» en curso de publicación en *al-Qanṭara*: este trabajo contiene una edición crítica de la descripción de este instrumento, basada en las dos fuentes conocidas, así como la de una variante del mismo que aparece en el *zīŷ* de Ibn Isḥāq, astrónomo tunecino de principios del s. XIII.

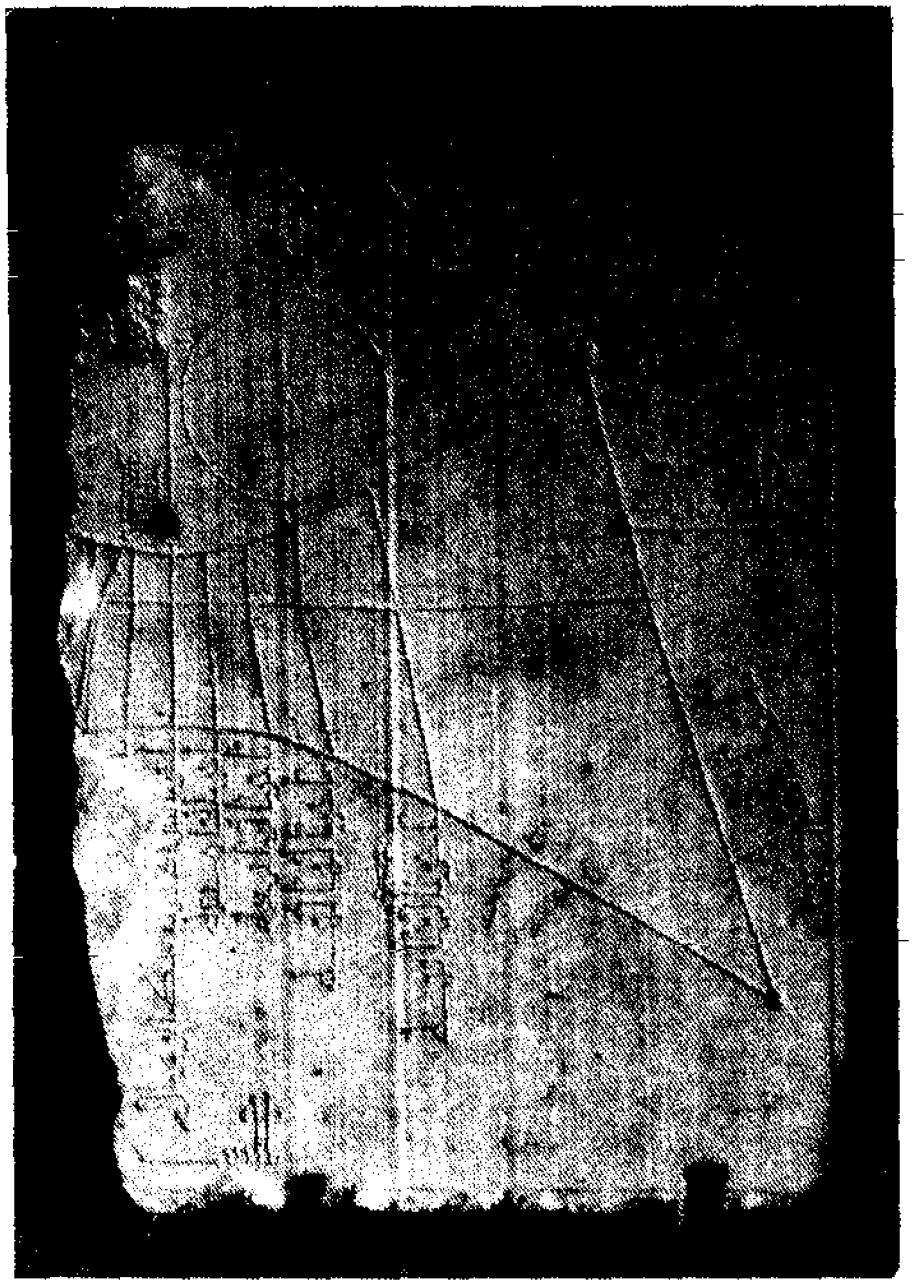


Fig. 8

Cuadrante solar que la inscripción atribuye al astrónomo Ibn al-Ṣaffār, conservado en el Museo Arqueológico de Córdoba.

los mencionados intervalos fueran desiguales. Por otra parte, los textos afirman que la cara del cuadrante en el que se han trazado las líneas horarias debe estar orientada al sur y describe cuidadosamente el procedimiento llamado del «círculo indio» para determinar la meridiana. La ambigüedad en la descripción del instrumento queda mínimamente compensada por las figuras que la acompañan en los dos manuscritos mencionados (Fig. 9 *a* y *b*): el dibujo que acompaña el *Kitāb al-hay'a* de Qāsim b. Muṭarrif resulta demasiado tosco y se ajusta mal a la descripción; en cambio, el que se encuentra al final del *Kitāb al-asrār* de Ibn Jalaf al-Murādī tiene un interés mucho mayor. David King cree que se trata de un cuadrante horizontal rudimentario en el que el estilo sería perpendicular al plano del cuadrante y los radios marcarían intervalos de 15°. Es muy posible que tenga razón a la vista de la ilustración del *Kitāb al-asrār*, en la que la línea meridiana aparece marcada sobre el cuadrante, lo que hace pensar en un cuadrante horizontal. En tal caso, resulta muy sugerente pensar en la supervivencia de un cuadrante solar de tradición romana, posiblemente -- tal como sugiere Casulleras-- resultado de la degeneración de un cuadrante ecuatorial.

Para terminar con este apartado señalaré que, además de ocuparse de astrolabios y cuadrantes solares, la escuela de Maslama describe lo que parece ser un instrumento astronómico nuevo, no sólo en al-Andalus sino en todo el mundo islámico: el ecuatorio. He mencionado antes que, con el astrolabio, se pueden resolver gráficamente problemas de astronomía y astrología esférica, así como todas las cuestiones relativas al movimiento del sol y de las estrellas. Quedan, por tanto, al margen de este instrumento la mayoría de las cuestiones relativas a la determinación de la posición de la luna y de los planetas, de las que sólo se ocupan, de forma excepcional y de manera precaria, algunos tratados de astrolabio como el libro de Ibn al-Samḥ antes mencionado. Para determinar la longitud de un planeta, hay que recurrir a unas tablas astronómicas y es sabido que un buen calculador necesita una media hora para determinar la longitud de un solo planeta. Si se tiene en cuenta que, para levantar un horóscopo, hay que empezar por calcular la longitud del sol, de la luna, de los cinco planetas conocidos y del nodo ascendente de la luna, puede considerarse que, sin tener en cuenta el tiempo necesario para calcular la posición del ascendente y dividir las casas

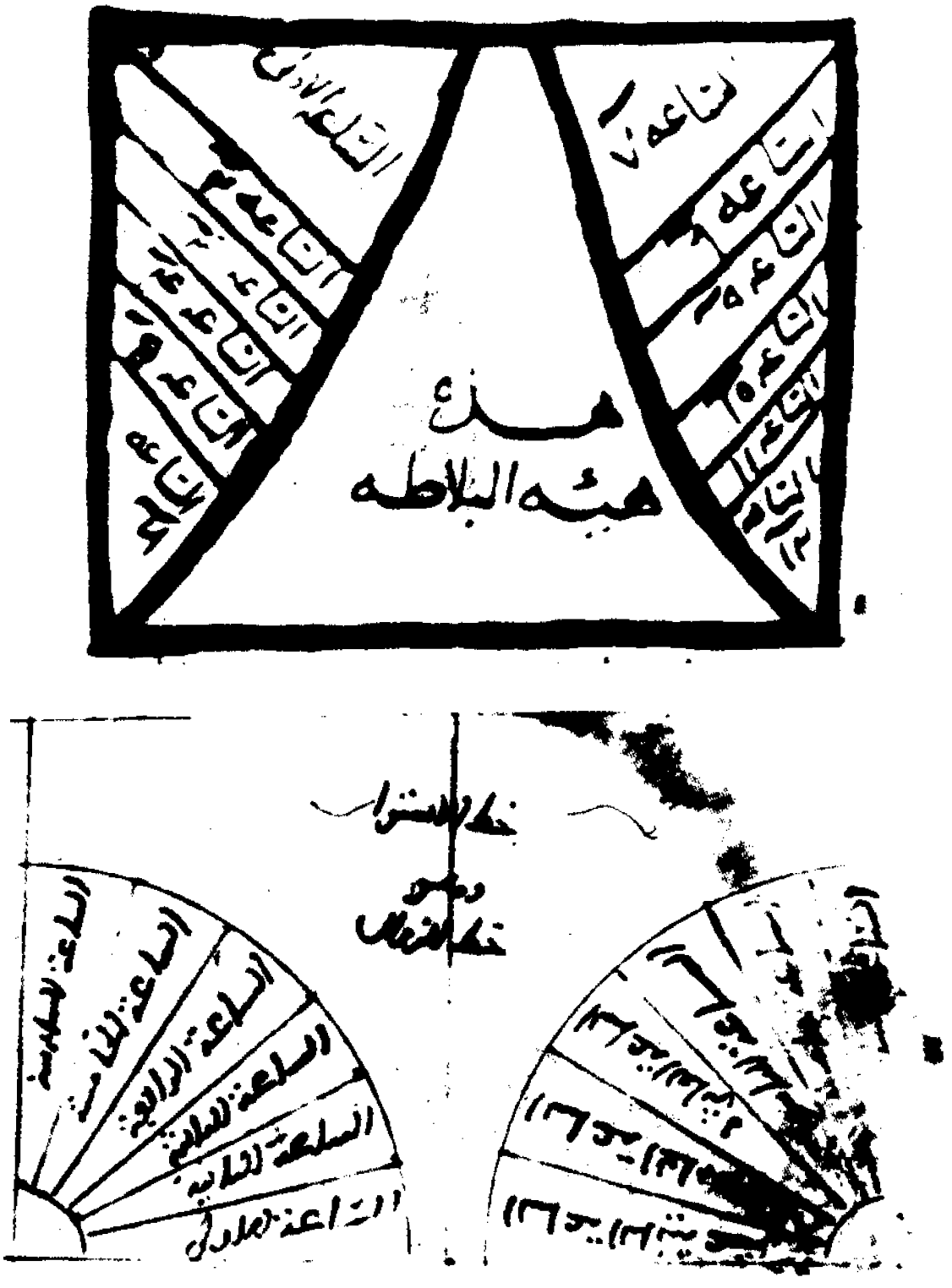


Fig. 9

Las dos ilustraciones de la *balāṭa* de que disponemos tal como aparecen a) en el manuscrito Carullah (Istambul) 1279 y b) en el manuscrito Medicea Laurenziana (Florencia) Or. 152.

zodiacales[160], tareas que pueden llevarse a cabo fácilmente con un astrolabio, hacen falta casi cuatro horas para determinar las longitudes imprescindibles para un horóscopo digno de este nombre. A esto debe añadirse el tiempo imprescindible para interpretarlo, con lo que la consecuencia inmediata es que el horóscopo es un producto caro, ya que puede requerir casi una jornada de trabajo de un individuo altamente cualificado.

Este fue, probablemente, el problema que atrajo la atención de los astrónomos y constituye uno de los muchos casos en los que la astrología funciona como acicate del desarrollo astronómico. Se trata, fundamentalmente, de simplificar la labor del cálculo de longitudes planetarias recurriendo a un instrumento que, como el astrolabio, permita resolver el problema de manera gráfica. Con este propósito surgió el ecuatorio que no es más que una serie de modelos planetarios trazados a escala. El primer ecuatorio conocido es el de Ibn al-Samḥ y, como veremos, el desarrollo de este instrumento tiene lugar, primeramente, en al-Andalus y, más tarde, en la Europa Latina medieval y renacentista. Sólo en fase muy tardía surgen ecuatorios en el Oriente Islámico[161]. El tratado de Ibn al-Samḥ, que versa únicamente sobre la manera de trazar el instrumento, se conserva en una traducción castellana alfonsí incluida dentro de los *Libros del Saber de Astronomia*. El ecuatorio dispone de una lámina por planeta y, si dejamos de lado las características especiales que presentan las láminas de Mercurio y de la Luna -- dada la mayor complejidad del modelo ptolemaico correspondiente -- señalaré que, en cada lámina (cf. Fig. 10) aparece un círculo exterior que corresponde a la eclíptica. Siguiendo la descripción del texto alfonsí, una vez trazado este círculo, dibujaremos un diámetro que va desde el apogeo (A) hasta el perigeo (P) del planeta. Sobre este diámetro marcaremos el centro

[160] Sobre todas estas cuestiones cf J. North, *Horoscopes and History*. Londres, 1986.

[161] Sobre la evolución de este instrumento en al-Andalus cf. M. Comes, *Los ecuatorios andalusíes*. Barcelona, 1991 (sobre el ecuatorio de Ibn al-Samḥ cf. pp. 27-68). Acerca de la historia del instrumento en la Europa Latina debe consultarse E. Poulle, *Les instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Équatoires et horlogérie planétaire du XIII^e au XVI^e siècle*. 2 vols. Genève-Paris, 1980. Sobre el ecuatorio de Ibn al-Samḥ puede verse, además, A. Wegener, «Die astronomischen Werke Alfons X». *Bibliotheca Mathematica* 6 (1905), 129-185; J. Samsó, «Notas sobre el ecuatorio de Ibn al-Samḥ». N.E.A.E.S.A.X, pp. 105-118; J.L. Mancha, «Sobre la versión alfonsí del ecuatorio de Ibn al-Samḥ», *De Astronomia Alfonsi Regis* (Barcelona, 1987), 117-123.

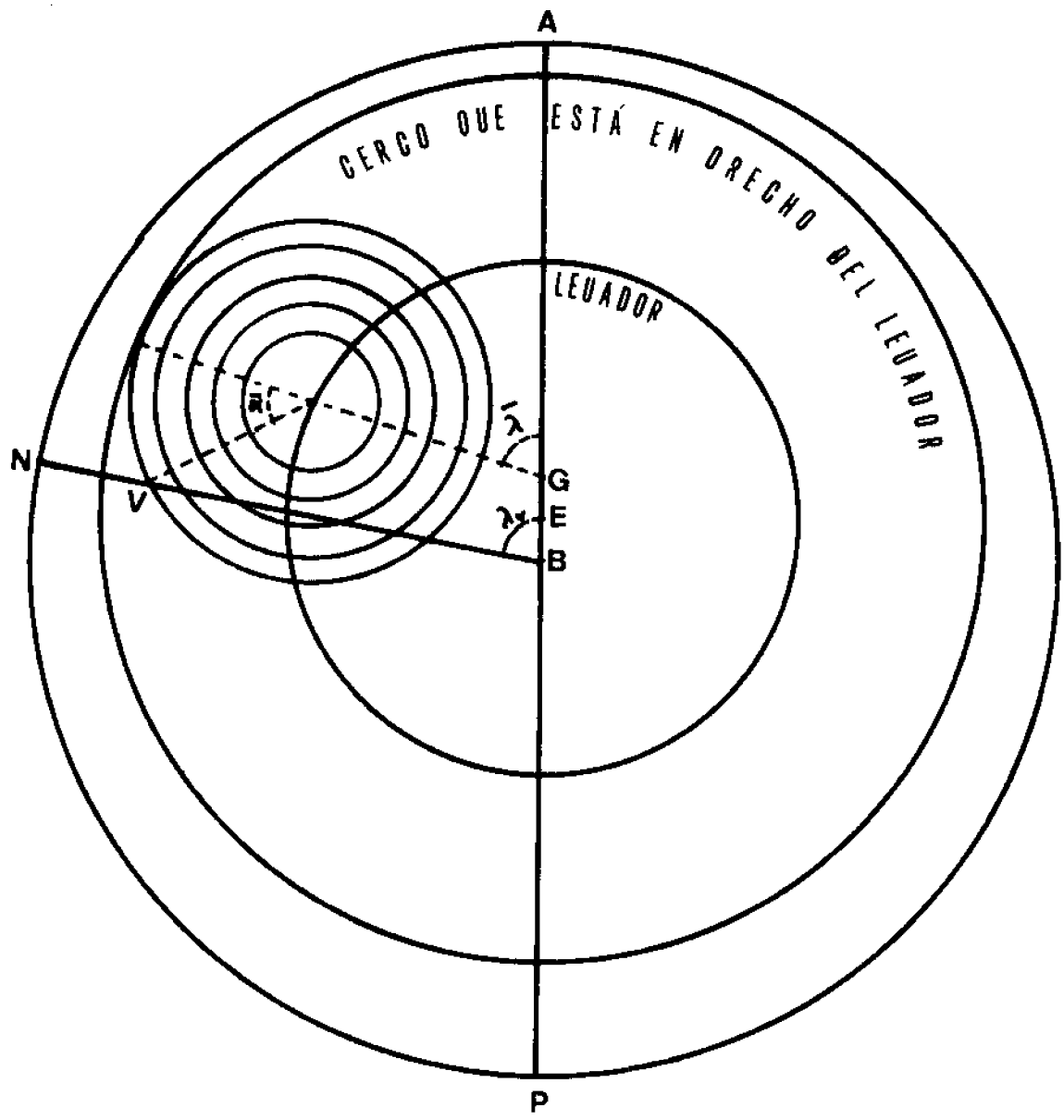


Fig. 10
Determinación de la longitud de un planeta con el ecuatorio de Ibn al-Samḥ.

del universo (B), que coincide con el centro de la eclíptica, y, a partir de él, tomaremos la doble excentricidad, en dirección al apogeo con lo cual determinaremos la posición del centro del deferente (*leuador*, en terminología alfonsí, punto G). El punto medio entre B y G será E que el texto alfonsí identifica con el *centro del ecuante*, con lo que incurre en un error flagrante ya que los modelos planetarios ptolemaicos sitúan siempre el centro del deferente en el punto medio entre el centro del ecuante y el centro del mundo. Prescindiendo del hecho de que el gran astrónomo judío Levi ben Gerson (1288-1344) consideró la posibilidad de esta situación anómala del centro del ecuante dentro de su análisis exhaustivo de las posibilidades que le ofrece la geometría de las excéntricas, J.L. Mancha ha puesto de relieve que, en el caso de nuestro ecuatorio, se trata de una equivocación atribuible al traductor alfonsí y ha señalado que la misma disposición de los centros se encuentra en la versión latina (alfonsí y/o derivada de una previa versión castellana alfonsí) de la *Astronomía* de Ibn al-Haytam (965-c. 1040)[162]. Esto me permite apuntar la posibilidad de que el traductor anónimo del tratado de Ibn al-Samḥ fuese el mismo Abraham Hebreo que tradujo la *Astronomía* de Ibn al-Haytam.

Corrijamos, pues, la figura y consideremos que B sigue siendo el centro del universo, pero que E es el centro del *leuador* y G el centro del ecuante. Con centro en E, tracemos el círculo del *leuador* con un radio que será igual a la mitad del radio de la eclíptica para todos los planetas. También con centro en E trazaremos el *çerco que está en drecho del leuador*: la diferencia entre el radio de este segundo *çerco* y el radio del *leuador* será igual al radio del epiciclo de Venus, por una razón que veremos más adelante. Con radio arbitrario, pero mayor que todos los demás, trazaremos, en torno a G, el círculo ecuante mismo -- denominado *çerco dell alaux* en el texto alfonsí -- mediante un círculo auxiliar que, más tarde, podrá borrarse. Dividiremos, a continuación, el *çerco dell alaux* en 360° y, mediante diámetros que unan puntos opuestos con el centro G del ecuante, proyectaremos las divisiones del *çerco dell alaux* sobre el *leuador* y sobre el *çerco que está en drecho del leuador*.

Con lo anterior he descrito la estructura básica de cada lámina planetaria y sólo me queda por mencionar la existencia de la lámina

[162] Además del artículo de Mancha sobre el ecuatorio de Ibn al-Samḥ, véase también su trabajo «La versión alfonsí del *Fī hay'at al-ᶜālam (De configuratione mundi)* de Ibn al-Haytam (Oxford, Canon. misc. 45, ff. 1r-56r)», O.E.Y.A.F., 133-207.

de los epiciclos, constituida por cinco círculos concéntricos que corresponden -- de mayor a menor -- a los epiciclos de Venus, Marte, Mercurio, Júpiter y Saturno.

Visto lo anterior, cualquier persona que tenga un mínimo conocimiento de los modelos planetarios ptolemaicos entenderá fácilmente la lógica del ecuatorio. La lámina de los epiciclos dispone de un índice, situado en el epiciclo más externo (el que corresponde a Venus), que marca la graduación 0º de la anomalía media (α). Por otra parte el centro de esta lámina está, forzosamente, perforado. Si situamos la lámina de los epiciclos de tal modo que, a través del orificio del centro veamos la graduación del *leuador* correspondiente al *centro medio* del planeta (o sea su longitud media medida desde el apogeo) para un momento determinado y giramos, a continuación, la lámina hasta que el índice coincida con la misma graduación (la del *centro medio*) en el *çerco que está en drecho del leuador*, tendremos el epiciclo correctamente situado ya que, como hemos visto, tanto la graduación del *leuador* como la del *çerco que está en drecho del leuador* corresponden, en realidad, a la graduación del ecuante. El radio que parte de G y pasa por el centro del epiciclo, situado así, formará con la línea de los ápsides BA un ángulo igual al centro medio del planeta. Tendremos también correctamente situado el índice que marca el origen de las anomalías medias y podremos medir, a partir de él, utilizando la graduación de la lámina de los epiciclos, el ángulo α (anomalía media) lo que nos permitirá determinar la posición del planeta (V). Con una regleta que una B (centro del universo) con el punto V del epiciclo determinaremos, sobre el círculo externo del instrumento (eclíptica), el valor del arco AN, longitud verdadera del planeta medida desde su apogeo. Puede entenderse fácilmente que, para que el esquema general funcione es imprescindible que la diferencia entre el radio del *çerco que está en drecho del leuador* y el radio del *leuador* sea igual al radio de la lámina de los epiciclos.

Ibn al-Samḥ no se limita a describir con detalle su ecuatorio sino que nos da, además, los parámetros numéricos imprescindibles para construirlo. He mencionado antes (§ 2.5.2.2) el origen de estos parámetros, con el fin de documentar la difusión del *Almagesto* y de las tablas de al-Battānī pero lo recordaré aquí: los apogeos planetarios derivan de al-Battānī con la adición de una constante de 2;12º, que corresponde al valor de la precesión entre el año 879 (fecha *radix* para los apogeos de al-Battānī) y el año 416 H/1025-26 (época

utilizada por Ibn al-Samḥ para los suyos) a base del avance de 1º cada 66 años solares (constante de precesión utilizada por al-Battānī). Las posiciones de los nodos ascendentes de los planetas parecen derivar, en cambio, de las tablas de al-Jwārizmī-Maslama. Las excentricidades y radios de los epiciclos de los planetas derivan, finalmente, del *Almagesto*.

Hemos visto, pues, que el ecuatorio permite resolver el problema de la determinación de la longitud de un planeta con un mínimo de cálculo ya que sólo es necesario recurrir a unas tablas astronómicas para calcular la longitud media y la anomalía media del planeta en una fecha determinada. Ibn al-Samḥ, que pretende que su instrumento sea autosuficiente, y es consciente de que en sus láminas planetarias hay mucho espacio libre, señala que unas tablas de los movimientos medios en longitud y en anomalía de cada planeta pueden grabarse en el espacio comprendido entre los círculos concéntricos de cada lámina. Por otra parte Ibn al-Samḥ señala también que estas láminas planetarias se situarán en la *madre* de un astrolabio, ya que este instrumento constituye una especie de caja en cuyo interior se guardan las distintas láminas correspondientes a cada latitud. Tenemos, pues, que el instrumento de Ibn al-Samḥ es un instrumento híbrido, un astrolabio-ecuatorio, en el que la corona exterior del astrolabio puede utilizarse para la graduación de la eclíptica y su alidada como regleta que permite leer las longitudes verdaderas de los planetas. Todo esto nos lleva a plantear la posibilidad de que el ecuatorio no fuera, después de todo, un instrumento de origen andalusí ya que el astrónomo oriental Abu Ŷa^{c}far al-Jâzin (m. entre 961 y 971) es el autor de un tratado denominado *Zîŷ al-ṣafā'iḥ* («tablas astronómicas de las láminas [de un astrolabio]»). El libro en cuestión se ha perdido pero se conservan las fotografías de un curioso astrolabio bagdadí de principios del siglo XII, relacionado con la obra de al-Jāzin, en el que aparecen tablas astronómicas grabadas sobre las láminas de manera similar a como las describe Ibn al-Samḥ. Existen, por otra parte, indicios de que las láminas mencionadas formaban parte de un ecuatorio[163] y es un hecho que «láminas tabulares» de esta índole tienen escaso sentido en un astrolabio convencional y adquieren, en cambio, todo su valor en un astrolabio-ecuatorio como el descrito

[163] D.A. King, «New Light on the "Zīj al-Ṣafā'iḥ" of Abū Ja^{c}far al-Khāzin», *Centaurus* 23 (1980), 115-117. Reimpresión en *Islamic Astronomical Instruments*. Variorum Reprints. London, 1987. Nº XI; J. Samsó, «¿Un nuevo dato sobre el *Zīŷ al-ṣafā'iḥ* de Abū Ŷa^{c}far al-Jāzin?», *Al-Qanṭara* 2 (1981), 461-464.

por Ibn al-Samḥ. La cuestión del posible origen oriental de este instrumento debe, de todas maneras, mantenerse abierta hasta que, con suerte, algún día, pueda resolverse con el descubrimiento de nueva documentación.

2.6 LAS CIENCIAS NATURALES.

2.6.1 LA APARICION DE UNA ESCUELA FARMACOLOGICA ANDALUSI.

En los mismos orígenes de la ciencia andalusí hemos podido ver a un ᶜAbd al-Raḥmān I interesándose, junto con sus cortesanos, por el problema de la aclimatación de plantas exóticas en al-Andalus (§ 1.2) y, algo más tarde, en tiempos de ᶜAbd al-Raḥmān II, Yaḥyà al-Gazal sustrae de Bizancio en el 840 las semillas de una nueva especie de higuera que es aclimatada en Córdoba (§ 2.2). En tiempos del emir Muḥammad (852-886) podremos señalar intereses similares del monarca en el campo de la zoología: Ibn Ḥayyān nos informa acerca del deseo que este emir sentía por traer, del norte de Africa, animales exóticos para su colección, como ciertas especies de halcones, jirafas (el primer animal de esta especie conocido en al-Andalus parece haber sido importado de Ifrīqiya durante su reinado) y búfalos (*ŷāmūs*) procedentes de Oriente[164]. Esta afición debió perdurar en la clase gobernante ya que sabemos, por ejemplo, que Almanzor disponía de un pequeño zoológico en su residencia en el que había, entre otros animales, avestruces[165]. Ahora bien, aunque estas aficiones a la zoología parecen haber tenido escasas consecuencias en el terreno científico, no ocurre lo mismo con los ensayos de carácter agronómico que parecen el punto de partida del desarrollo de dos escuelas científicas con personalidad propia e, indudablemente, relacionadas entre sí: la de los botanistas cuyo interés fundamental es la farmacología y la de los agrónomos. Me ocuparé aquí de la primera de estas dos escuelas, dejando el tratamiento de la segunda para el siglo XI en el que adquiere su desarrollo fundamental (§ 4.5).

Podemos rastrear los orígenes de la farmacología andalusí en una etapa relativamente temprana ya que, bajo el emirato de ᶜAbd

164 Ibn Ḥayyān, *Muqtabis* ed. Makkī pp. 266 y 276.

165 E. García Gómez, «El Príncipe Amnistiado y su "diwan"», *Cinco poetas musulmanes* (Madrid, 1944) pp. 74-75.

al-Raḥmān II, Jālid b. Yazīd b. Rumān, médico al que hemos citado como uno de los representantes de la tradición latina, adquiere buena reputación como conocedor de las drogas vegetales, y lo mismo sucede con el célebre al-Ḥarrānī (probablemente el iniciador de una escuela médica oriental), y con la familia de los Banū Ḥamdīn, descendientes del médico muladí Hamdīn b. Ubba, que eran todos botanistas. La asociación obvia entre medicina y botánica aplicada adquirirá una relevancia muy especial bajo ᶜAbd al-Raḥmān III, momento en el que la medicina andalusí se encuentra ya plenamente arabizada, o sea helenizada. Un primer representante de esta etapa es el médico Saᶜīd b. ᶜAbd Rabbihi (m. 953-54 o 966-67), buen conocedor de la dieta hipocrática, y autor de un *Kitāb al-aqrābāḏīn*, tratado sobre los medicamentos compuestos, la primera obra de su género publicada en al-Andalus[166]. Ahora bien, el acontecimiento más interesante que tiene lugar durante el reinado de este monarca es, sin duda, la revisión de la traducción árabe oriental de la *Materia Médica* de Dioscórides, una obra fundamental que ocupa — en el campo de la Farmacología — un lugar similar al *Almagesto* de Ptolomeo en el de la Astronomía o los *Elementos* de Euclides en el de la Geometría[167]. El hecho tendrá una enorme trascendencia e influirá en todo el desarrollo posterior de la farmacología andalusí, razón por la cual transcribo aquí un largo pasaje que recoge — en la traducción de J. Vernet[168] — el testimonio de Ibn Ŷulŷul, uno de sus protagonistas:

> El tratado de Dioscórides fue traducido en Bagdad en la época ᶜabbāsí bajo el reinado de Ŷaᶜfar al-Mutawakkil [847-861], por Esteban, hijo de Basilio, del griego al árabe. Esta traducción fue corregida por el traductor Ḥunayn b. Isḥāq [m. 877], que la arregló y la hizo manejable. Las palabras griegas que Esteban conocía en árabe las tradujo, pero aquellas que no sabía las transcribió en su forma

166 Sobre los orígenes de la farmacología en al-Andalus cf. M. Meyerhof, «Esquisse d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les musulmans d'Espagne», *Al-Andalus* 3 (1935), 1-41 (cf. especialmente pp. 3-7); S. Hamarneh, «A History of Arabic Pharmacy», *Physis* 14 (1972), 44-47.

167 Cf. C.E. Dubler y E. Terés, *La 'Materia Médica' de Dioscórides. Transmisión medieval y renacentista*. Cf. especialmente los vols. I y II (Barcelona y Tetuán, 1952-1957).

168 J. Vernet, «Médicos andaluces», E.H.C.M. pp. 471-472.

griega, dejando en manos de Dios el que más tarde hiciera que encontraran a alguien que las supiera y pudiera traducirlas al árabe, ya que los nombres de los medicamentos se deben a una convención de las gentes de un mismo país que son quienes los conocen y les dan el nombre, bien por derivación, bien por un acuerdo tácito. Esteban dejó la sinonimia para quienes conocieran las drogas que él desconocía, pues así recibirían los nombres que les convinieran desde el instante en que fueran reconocidas [...]. Esta traducción de Esteban llegó a al-Andalus y fue utilizada tanto por los andaluces como por los orientales hasta la época de ᶜAbd al-Raḥmān [III] al-Nāṣir [912-961]. Este recibió de Romano [959-963], emperador de Constantinopla — creo que en el año 948 [?] — una carta acompañada de presentes de gran valor, entre los cuales se encontraba el tratado de Dioscórides; estaba iluminado con magníficas miniaturas griegas y escrito en griego [...]. Este envío contenía también la *Historia* de Orosio relativa a los hechos pretéritos, a los antiguos reyes y a los acontecimientos importantes. El emperador Romano decía en su carta a al-Nāṣir: «No puede obtenerse provecho del Dioscórides más que con un traductor avezado en el griego y que conozca las propiedades de esas drogas. Si tienes en tu país a alguien que reúna estas dos condiciones sacarás, oh Rey, la mayor utilidad de este libro. En lo que se refiere al libro de Orosio tienes, en tus estados, latinos que pueden leerlo en su lengua original; si se lo entregas lo traducirán al árabe». [...] Entre los cristianos de Córdoba no había nadie capaz de leer el griego [...]. En consecuencia el libro de Dioscórides se quedó en la biblioteca de ᶜAbd al-Raḥmān al-Nāṣir sin ser traducido al árabe: estaba en al-Andalus pero sus habitantes utilizaban la traducción de Esteban procedente de Bagdad. Cuando al-Nāṣir contestó a Romano, le pidió que le enviase a alguien que hablara el griego y el latín para que enseñara estas lenguas a sus esclavos, que así se transforma-

> rían en traductores. El emperador Romano le envió entonces a un monje llamado Nicolás, que llegó a Córdoba en el año 951 [?]. Había entonces en esta ciudad una serie de médicos que investigaban, indagaban y buscaban con avidez el modo de determinar los nombres de los simples que figuraban en el Dioscórides y de los cuales aún no conocían su equivalencia en árabe. El más interesado y diligente entre todos estos médicos era el judío Ḥasdāy b. Šaprūṭ, quien así procuraba complacer a ᶜAbd al-Raḥmān al-Nāṣir. El monje Nicolás pasó a ser para él la persona más íntima y apreciada. Así pudo comentar los nombres de los simples del libro de Dioscórides que aún eran desconocidos [...]. En ese tiempo vivían en Córdoba otros médicos consagrados a esclarecer los nombres de los simples que figuraban en dicho libro. Entre ellos se encontraba Muḥammad conocido por al-Šaŷŷār [el Herbolario]; otro llamado al-Basbāsī, y Abū ᶜUṯmān al-Ŷazzār, apodado el Ibicenco; el médico Muḥammad b. Saᶜīd, ᶜAbd al-Raḥmān b. Isḥāq b. al-Haytam y Abū ᶜAbd Allah al-Ṣaqillī [siciliano], que hablaba griego y conocía las propiedades de las drogas [...]. Todos ellos eran contemporáneos del monje Nicolás y los conocí al mismo tiempo que a éste, en la época del reinado de [al-Ḥakam II] al-Mustanṣir [961-976]. Yo era en esa época su amigo. Nicolás murió al principio del gobierno de este califa. Gracias a las investigaciones hechas por este grupo de médicos acerca de los nombres de los simples del libro de Dioscórides, llegaron a conocerse en Córdoba y en todo al-Andalus, las verdaderas propiedades de las plantas, desapareciendo las dudas que se tenían. Se supo exactamente sus virtudes y el modo exacto como debía pronunciarse su nombre sin cometer errores, excepción hecha de un pequeño número, tal vez diez, lo cual carece de importancia.

El texto de Ibn Ŷulŷul resulta suficientemente claro y no requiere excesivas explicaciones. Las inconsistencias cronológicas que

he ido señalando entre corchetes se resuelven bastante bien si aceptamos que el autor confunde al emperador bizantino Romano (959-963) con su padre Constantino VII Porfirogéneta (913-959) durante buena parte de cuyo reinado (919-944) su suegro el almirante Romano Lecapeno se hizo cargo de la administración; del mismo modo su hijo, el futuro emperador Romano, estuvo asociado al poder a partir del año 945. Se desprende claramente del testimonio de esta fuente que no se llevó a cabo, en Córdoba, ninguna traducción nueva de la *Materia Médica* de Dioscórides -- como se ha afirmado a veces -- sino una revisión de la traducción oriental que planteaba múltiples problemas en la identificación de ciertos nombres de plantas. Téngase en cuenta que, hasta que Linneo (1707-1778) introdujo su sistema de clasificación binaria, aplicable tanto a la Botánica como a la Zoología, la denominación de las plantas tuvo un carácter eminentemente local, tal como sucede aún ahora fuera del terreno estricto de la terminología científica. El interés por la identificación de los nombres griegos de las plantas dio lugar a una curiosidad lingüística que parece caracterizar los tratados andalusíes de farmacología en los que, como veremos, es frecuente que los simples se identifiquen por su nombre griego, latino, árabe clásico, árabe andalusí, romance hispánico y beréber con el fin de que nunca puedan dar lugar a confusión. Por otra parte, el deseo de identificar implica, obviamente, un interés por un conocimiento real de las plantas, que no se reduce a lo meramente libresco. Los botanistas andalusíes se dedicaron a herborizar y buscar siempre el modo de completar la lista de plantas conocidas por Dioscórides. Este interés aparece muy pronto si bien cabe reconocer que uno de los farmacólogos más conocidos de este siglo X, Ḥāmid ibn Samaŷūn (m. c. 1002), que fue médico de Almanzor, escribió un tratado de simples -- del que sólo se conserva un fragmento, además de las numerosas citas de los farmacólogos andalusíes posteriores -- en el que no aportaba nada nuevo ni demostraba un conocimiento práctico de la flora de la Península, sino que se limitaba a elaborar un mosaico de citas de autoridades griegas y árabes, entre las que destacaban las de Dioscórides, Galeno e Isaac Israelí[169]. En cambio, Ibn Ŷulŷul, al que he citado repetidamente como autor de una historia de la medicina titulada *Ṭabaqāt al-aṭibbā' wa-l-ḥukamā'* («Categorías de médicos y filósofos») terminada en el

[169] P. Kahle, «Ibn Samajūn und sein Drogenbuch. Ein Kapitel aus den Anfängen der arabischen Medizin», *Documenta Islamica Inedita* (Berlín, 1952), 25-44.

987, parece haber estado directamente relacionado con la revisión cordobesa del Dioscórides ya que escribió, en el verano del 982, un libro titulado *Tafsīr asmā' al-adwiya al-mufrada min kitāb Dioscórides* («Explicación de los nombres de los simples del libro de Dioscórides») de cuyo prólogo procede la larga cita anterior y del que conservamos, al menos, un fragmento[170]. Es posible, tal como señala Garijo, que este libro fuese el informe final del equipo de trabajo que llevó a cabo la mencionada revisión: el fragmento conocido se ocupa de la transcripción sistemática de los nombres griegos de 317 simples, su traducción literal al árabe y, finalmente, de su identificación. Estos simples corresponden a la segunda mitad del libro III, a la totalidad del libro IV y a parte del libro V de la obra de Dioscórides. Por otra parte el mismo Ibn Ŷulŷul escribió una segunda obra en la que se inicia la larga serie de adiciones andalusíes al libro del botanista griego: su título resulta suficientemente significativo ya que comienza con *Maqāla fī ḏikr al-adwiya allatī lam yaḏkur-hā Dioscórides* («Escrito en el que se mencionan aquellos medicamentos que no cita Dioscórides»)[171] bien sea -- en palabras del propio Ibn Ŷulŷul -- porque el autor clásico no los hubiera visto jamás o porque no se utilizaran en su tiempo[172]. En esta *maqāla*, Ibn Ŷulŷul estudia 62 simples de cada uno de los cuales consigna su nombre, lugar de procedencia, descripción física, temperamento, valores terapéuticos etc. Las aportaciones de una farmacología andalusí naciente que no pretende limitarse a una mera asimilación del saber heredado de la tradición griega aparecen claramente en otra obra de Ibn Ŷulŷul, la *Maqāla fī adwiyat al-tiryāq* («Escrito sobre los medicamentos de la triaca»), en la que el autor pasa revista a los componentes de este antídoto universal contra toda clase de venenos e informa acerca de su efectividad basándose en sus experiencias al respecto.

[170] I. Garijo, «El tratado de Ibn Ŷulŷul sobre los medicamentos que no mencionó Dioscórides». *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus. Textos y Estudios I* (ed. de E. García Sánchez. Granada, 1990), 57-70. Véase asimismo *La obra científica de Ibn Ŷulŷul*, tesis doctoral de este mismo autor leida en la Universidad de Córdoba en 1991.

[171] Acaba de aparecer una ed. y trad. de esta obra: cf. I. Garijo, *Ibn Ŷulŷul, Tratado Octavo*, Córdoba, 1992.

[172] Vernet, «Médicos andaluces», E.H.C.M. pp. 472-477.

Tal como señala Meyerhof[173], la revisión cordobesa del Dioscórides dio, pues, un gran impulso a la farmacología andalusí y preparó la gran labor del siglo XI. Señalemos, por otra parte, que esta farmacología es, fundamentalmente, botánica pero abarca también la zoología y la mineralogía, dentro de la mejor tradición de Dioscórides y Galeno. Un pasaje del *Tafsīr asmā'*... de Ibn Ŷulŷul nos señala que Dios ha repartido la curación entre las plantas que brotan en la tierra, los animales que andan, nadan en el agua o reptan, y los minerales que se encuentran en el interior de la tierra[174]. Geógrafos y médicos hacen frecuentemente hincapié en la riqueza mineral de al-Andalus y en sus aplicaciones farmacológicas. Un ejemplo relativo a la época que estoy comentando se encuentra en el célebre *Collar de la paloma* de Ibn Ḥazm de Córdoba quien refiere que, en su niñez, se le administró incienso durante largo tiempo con el fin de curar unas palpitaciones de corazón pero que el tratamiento tuvo efectos secundarios ya que anuló su capacidad de llorar[175]. Parece claro, pues, que los farmacólogos andalusíes fueron naturalistas, por más que el desarrollo de la botánica en al-Andalus resultara mucho más importante que el de la zoología o el de la geología. Por otra parte, y tal como veremos más adelante, medicina y farmacología fueron uno de los puntos de partida del desarrollo de la agronomía en el siglo siguiente.

2.6.2 LA MEDICINA: ABŪ-L-QĀSIM AL-ZAHRĀWĪ Y ᶜARĪB B. SAᶜĪD.

Si, como hemos podido comprobar, el siglo X supone la fase en el que tanto las ciencias exactas como la botánica y la farmacología alcanzan una cierta madurez, lo mismo puede afirmarse acerca de la medicina en cuyo campo surgen, a lo largo de este siglo tres figuras importantes que enumero en orden cronológico que coincide con el de su importancia creciente: Saᶜīd b. ᶜAbd Rabbihi (m. 953-54 o 966-67), ᶜArīb b. Saᶜīd (c. 912-c. 980), al que ya he mencionado

173 Meyerhof, «Esquisse d'histoire de la pharmacologie...», 11-13.

174 Cf. el texto árabe en Ibn Ŷulŷul, *Kitāb ṭabaqāt al-aṭibbā' wa-l-ḥukamā'*. Ed. F. Sayyid (El Cairo, 1955), pág. XXI. Trad. castellana en Vernet, «Médicos andaluces...», E.H.C.M. p. 473.

175 Ibn Hazm de Córdoba, *El Collar de la Paloma*. Trad. de E. García Gómez (Madrid, 1971) p. 116.

como coautor del *Calendario de Córdoba* (§ 2.4.3), y Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (n. después del 936-m. c. 1013), el Abulcasis de las traducciones latinas. En lo que respecta a la obra del primero sólo conservamos, además de su tratado sobre medicamentos compuestos (*Kitāb al-aqrābāḏīn*) al que ya me he referido en § 2.6.1, un poema didáctico (*Urŷūza fī-l-ṭibb*). Ambos textos suponen, en opinión de Rosa Kuhne[176], «los primeros balbuceos de la literatura médica entre los andalusíes» e, indudablemente, corresponden a una fase en la que lo fundamental de las traducciones árabes del *corpus* hipocrático-galénico ya ha llegado a al-Andalus. Unos versos cruzados entre Saᶜīd y su tío, el erudito y poeta Aḥmad b. ᶜAbd Rabbihi, nos muestran cómo el primero se conforma con la compañía de Hipócrates y Galeno ya que Aḥmad no ha podido acudir a visitarle. La *Urŷūza*, compuesta probablemente hacia 930-940, supone un intento de quintaesenciar la herencia griega y de revisar la teoría humoral — que, en buena parte, se da por sabida —, la patología, terapéutica, higiene, anatomía, fisiología y régimen dietético. Su actitud es más teórica— y con ciertas tendencias filosóficas — que práctica por más que las fuentes afirman que Saᶜīd era un buen clínico y que fue el autor de un texto sobre sus *muŷarrabāt* (experiencias). Llama la atención la escasa importancia que en la *Urŷūza* tiene la anatomía a la que sólo dedica los 13 últimos pareados del poema en los que describe, parcialmente, el sistema venoso siguiendo, tal vez, el apartado relativo al tema en los *Ŷawāmiᶜ al-Iskandarāniyyīn* (*Summaria Alexandrinorum*), una sinopsis de los escritos galénicos básicos traducida al árabe por Ḥunayn b. Isḥāq.

En lo que respecta a ᶜArīb b. Saᶜīd[177], nuestro segundo médico, debe señalarse que es el autor del primer tratado independiente de obstetricia que se conserva[178], dedicado al califa al-Ḥakam II y escrito, probablemente, entre 961 y 970, en el que se ocupa no sólo de esta materia sino también de sexología, ginecología y pediatría. Las autoridades que cita, tanto griegas (Hipócrates, Galeno, Dioscó-

[176] R. Kuhne, «La *Urŷūza fī-l-ṭibb* de Saᶜīd ibn ᶜAbd Rabbihi», *Al-Qanṭara* 1 (1980), 279-338 (edición, traducción y estudio de la mencionada *urŷūza*).

[177] Cf. A.C. López, «Vida y obra del famoso polígrafo cordobés del s. X ᶜArīb ibn Saᶜīd», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 317-347.

[178] ᶜArīb ibn Saᶜīd al-Kātib al-Qurt'ubī, *Kitâb khalq al-janîn wa-tadbîr al-h'abâlâ wa'l-mawlûdîn. Le Livre de la génération du foetus et le traitement des femmes enceintes et des nouveau-nés*, ed. y trad. francesa de H. Jahier y Noureddine Abdelkader, Argel, 1956.

rides etc.) como árabes (Isḥāq b. ᶜImrān, Yaḥyà b. Māsawayh, ᶜĪsà b. Mūsà) son las que cabe esperar pero a ellas añade materiales que parecen derivar, en último término, de un tratado de erotología indio que, posiblemente, conoce a través del *Firdaws al-ḥikma* de ᶜAlī al-Ṭabarī (m. c. 855). Sus ideas sobre la generación del feto tienen evidentes raíces hipocráticas ya que considera que éste es el resultado de la unión del esperma masculino con otro femenino y se plantea problemas que debieron interesar notablemente en la Córdoba de su tiempo[179] en relación con las leyes de la herencia: semejanza del hijo a sus padres frecuentemente centrada en el caso límite de la unión entre hombres y mujeres que no pertenecen a la misma raza. Estudia asimismo las causas que motivan el nacimiento de gemelos y siameses y da noticias sobre un caso de hermafroditismo. Se ocupa igualmente de impotencia (debida a causas fisiológicas o psicológicas) y de esterilidad pero llama, sobre todo, la atención en este tratado el interés que demuestra por la yatromatemática o astrología médica que aparece documentada, aquí, por vez primera en al-Andalus. Desarrolla con detalle la teoría de las influencias planetarias durante los nueve meses de la gestación y explica, de acuerdo con ellas, la creencia popular (que dura hasta hoy) de que un niño sietemesino es viable, no siéndolo en cambio el ochomesino: unos seis meses bastan para la plena formación del feto y, al cumplirse los siete meses, éste desgarra las membranas que lo unen a la madre e invierte su posición en el útero. A continuación queda exhausto y, en el caso de que no nazca inmediatamente, debe esperar hasta el noveno mes. A este conato de explicación se añade otro de carácter astrológico: durante el primer mes de embarazo el feto está sometido a la influencia de Saturno, durante el segundo a la de Júpiter y así sucesivamente siguiendo el orden descendente de los planetas. Al llegar al séptimo mes la influencia predominante corresponde a la Luna, que tiene carácter benéfico, pero en el octavo vuelve a empezar el ciclo y el feto cae bajo la influencia maléfica de Saturno. Sólo puede vivir si llega al noveno mes en el que, una vez más, surge la influencia benéfica y paterna de Júpiter.

La obra de nuestro tercer médico, Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī[180]

179 J. Samsó, «En torno al "Collar de la Paloma" y la medicina», *Al-Andalus* 40 (1975), 213-219.

180 Véase, con precaución, M. Tabanelli, *Albucasi. Un chirurgo arabo dell'Alto Medio Evo. La sua época- La sua vita- La sua opera*, Florencia, 1961. Muy re-

resulta absolutamente sorprendente e inesperada en el contexto de la medicina andalusí de la segunda mitad del siglo X ya que, sin previo aviso y casi sin precedentes dignos de este nombre, alcanza el máximo nivel dentro de la historia de la medicina andalusí que sólo podrá compararse con el nivel de los grandes médicos del siglo XII. Al-Zahrāwī, como médico, se encuentra claramente por encima de un Maslama astrónomo y sólo resulta comparable en importancia al gran Azarquiel de la época taifa. Su gran enciclopedia médica, el *Kitāb al-taṣrīf li-man ᶜaŷiza ᶜan al-taʾālīf* («Libro que permite actuar a quien quiere prescindir de otras compilaciones») es una obra destinada a la formación de los estudiantes y a servir de manual de consulta para el médico práctico, que aspira a ser autosuficiente y a prescindir tanto de la literatura elaborada en Oriente como de «los trabajos inexplicables de los antiguos»[181], frase con la que se alude claramente a las dificultades que existían para comprender las traducciones greco-árabes: este comentario no implica, en modo alguno que al-Zahrāwī desconociera las aportaciones de la medicina clásica y árabe oriental, sino todo lo contrario. Por otra parte, el *Taṣrīf* no es, en modo alguno, una mera recopilación de citas espigadas en la bibliografía de la que disponía su autor, sino que es la obra de un médico y cirujano con amplia experiencia que sale a relucir casi en cada página de su obra. Para comprender su importancia, basta señalar que León Africano compara el *Taṣrīf* con el *Qānūn* de Ibn Sīnā, la máxima expresión de la enciclopedia médica oriental.

El *Taṣrīf* está dividido en 30 libros en los que pasa revista, tras la correspondiente introducción, a la medicina clínica y general (libros 1 y 2) y estudia la naturaleza del hombre y su temperamento, anatomía, patología, clasificación de las enfermedades, síntomas y tratamiento. Llama la atención el cuidado con el que al-Zahrāwī desarrolla la anatomía, disciplina cuyo conocimiento resulta indispensable para el cirujano. Su estudio de la Patología es, asimismo, importante: analiza 325 enfermedades siguiendo, sobre todo, a al-Rāzī del que conoce (como también lo conocía ᶜArīb b. Saᶜīd) el escrito sobre el diagnóstico diferencial de la viruela y del sarampión. Su estudio sobre las fiebres lo toma casi literalmente de Isḥāq b. Sulaymān al-Isrāʾīlī pero su aportación más importante, dentro de este

ciente es el estudio de Jaṭṭābī en *Al-ṭibb wa-l-aṭibbāʾ fī-l-Andalus* I, 111-274.

[181] S. Kh. Hamarneh y G. Sonnedecker, *A pharmaceutical view of Abulcasis al-Zahrāwī in Moorish Spain, with special reference to the "adhān"*, Leiden, 1963, p. 37.

capítulo, es, quizás el haber sido el autor de una de las primeras descripciones conocidas de la hemofilia[182]. En el *Taṣrīf*, al-Zahrāwī se ocupa, también de Higiene y Dieta a las que dedica los libros 26 y 27 pero se interesa, sobre todo, por la Farmacología[183] de la que habla en los tratados 3-25 y 28-29, de los que el tratado 19 constituye el primer tratamiento independiente de la cosmética en al-Andalus[184]. La farmacología de al-Zahrāwī es, ante todo, obra de un médico más que de un naturalista y se preocupa, sobre todo, de la técnica de preparación de un fármaco a partir de drogas de origen vegetal, mineral o animal, temática de la que se ocupa en el tratado 28, uno de los más conocidos del *Taṣrīf* por haber sido objeto de una traducción latina (*Liber servitoris*) a fines del siglo XIII. Muy influido por Dioscórides, añade gran cantidad de detalles que no se encuentran en la obra del autor clásico. Se preocupa especialmente de las drogas que se encuentran o utilizan en al-Andalus. Su punto de partida teórico es la teoría humoral hipocrático-galénica y sus medicamentos tienen las cuatro cualidades hipocráticas (cálido-frío, húmedo-seco) y los grados galénicos de estas cualidades. Es muy posible que su obra se encontrara influida por el *De gradibus* de al-Kindī ya que parece aplicar el esquema de este autor para determinar los grados de las cualidades de las drogas compuestas o dietas que contienen más de dos ingredientes, cada uno de los cuales tiene su propio grado de cualidad o acción humoral: se trata de la aparición de una doctrina que veremos desarrollarse en al-Andalus en el siglo XI (§ 4.4) y que será objeto de discusión en el XII con la obra de Averroes (§ 5.5.2). Sus libros 25 y 28 exponen con detalle técnicas de laboratorio y tienen interés para la historia de la química: el origen remoto de algunas de estas técnicas parece encontrarse en la antigua Mesopotamia y es curioso señalar que al-Zahrāwī recurre, a veces, a imitar las técnicas de los artesanos y perfumistas del Iraq y Egipto que tienen una obvia utilidad pero que implican, en nuestro autor, una gran amplitud de espíritu que le permite salir del círculo académico propiamente dicho.

182 J. Vernet, *La cultura hispanoárabe* p. 161.

183 Cf. sobre este tema Hamarneh y Sonnedecker, *A pharmaceutical view of Abulcasis* ya citado.

184 S.K. Hamarneh, «The first known independent treatise on cosmetology in Spain», *Bulletin of the History of Medicine* (Baltimore) 39 (1965), 309-325. Reimpreso en Hamarneh, *Health Sciences in Early Islam* II (Blanco, Texas, 1984), 189-203.

Pese a la importancia de su obra médica y farmacológica, la fama de Abulcasis se debe, muy especialmente al libro 30 del *Taṣrīf*, un completísimo tratado de cirugía, basado en la obra de Pablo de Egina y en su experiencia propia, que fue bien conocido en la Europa Latina a partir de la traducción de Gerardo de Cremona en el siglo XII[185]. El prólogo de este libro se lamenta del bajo nivel científico que ha alcanzado la cirugía en su tiempo y trae a colación varios ejemplos en los que el paciente ha muerto por incompetencia del cirujano. La prudencia es la norma a aplicar en la actividad del profesional y al-Zahrāwī expone criterios claros para establecer cuándo una intervención quirúrgica es factible y cuándo resulta inútil y peligrosa: así, sólo la recomienda, en los casos de cáncer, cuando el tumor está en una región en la que puede aislarse enteramente y extirparse por completo, por más que reconoce que no ha logrado nunca curar un solo caso ni conocer ninguno que haya sido intervenido con éxito. Del mismo modo, aconseja abstenerse de intervenir en los casos de hidrocefalia: aunque describe la técnica quirúrgica a utilizar, señala que todos los niños que sufren esta enfermedad mueren sin remedio y que él se ha negado siempre a intervenir.

El libro 30 se divide en tres partes. En la primera se ocupa de la cauterización con cauterios y con cáusticos que aplica a 50 tipos de enfermedades, a veces de forma abusiva pero que, en algunos casos, tuvo que dar buenos resultados: así, en las hernias inguinales recientes, para la remoción de tumores (el cauterio aparece como un precedente del bisturí eléctrico), o en los casos de hemorragias arteriales. La segunda parte trata de todas aquellas intervenciones quirúrgicas que se llevan a cabo con el cuchillo. Está dividida en 99 capítulos y, en ella, al-Zahrāwī estudia con cuidado el tema de las sangrías que aconseja practicar cuando llega la primavera y aparecen las señales de plétora. La prudencia de que hace gala al-Zahrāwī le hace desaconsejar esta práctica con niños menores de 14 años, ancianos mayores de 60 y en todos los casos en los que se ha producido una pérdida de fuerzas por causas físicas o morales. Resulta imposible, aquí, seguir a al-Zahrāwī en su detallado análisis de las intervenciones quirúrgicas que conoce y practica pero sí quisiera llamar la atención sobre algunos aspectos. Nuestro autor trata con detalle el tema de las heridas y describe técnicas de sutura aludien-

185 M.S. Spink y G.L. Lewis, *Abulcasis on surgery and instruments. A definitive edition of the Arabic text with English translation and commentary*. Berkeley, 1973.

do al uso de hormigas gigantes para las suturas abdominales: se hace morder a la hormiga en los labios de la herida y, a continuación, se le corta la cabeza. Por otra parte al-Zahrāwī parece ser el primer cirujano que documenta el uso de «hilo fino que se extrae de los intestinos de los animales», o sea el catgut utilizado, hoy, de forma universal. Nuestro autor describe, asimismo, la ligadura arterial, se muestra un experto en materia de Obstetricia y explica con cuidado cómo extraer el feto muerto incluyendo el uso de la cráneoclastia cuando la cabeza es demasiado grande como para que pueda salir con facilidad. Un cirujano como al-Zahrāwī que se ha interesado por el tema de la cosmética, no puede ser indiferente a la cirugía plástica y describe técnicas interesantes para reducir el tamaño de los pechos excesivamente desarrollados en los varones y para corregir los senos excesivamente grandes que cuelgan en las mujeres. Dentro de este apartado, describe la extracción de varices, da soluciones quirúrgicas para los presuntos casos de hermafroditismo y expone con claridad la técnica a aplicar en la circuncisión e, incluso, para la castración, con respecto a la cual no disimula sus reparos.

La tercera parte de este libro 30 se ocupa de las fracturas, dislocaciones y luxaciones y, en ella, describe con detalle las técnicas a utilizar en el tratamiento de las fracturas de las distintas partes del cuerpo basándose en el principio general de empezar por reducir la fractura y proceder, a continuación, a inmovilizarla: conviene señalar, a este respecto que, en el caso de una dislocación de hombro, al-Zahrāwī describe el uso de una especie de yeso mezclado con clara de huevo sobre el que se aplica un vendaje muy tenso.

Terminaré señalando que uno de los títulos de gloria de este libro 30 del *Taṣrīf* se basa en la abundancia de dibujos de instrumentos quirúrgicos que aparecen en los manuscritos del mismo[186] y que adquieren una singular importancia dados los escasos conocimientos que pueden espigarse a partir de los instrumentos reales recuperados en excavaciones arqueológicas[187]. El instrumental descrito y

[186] S.K. Hamarneh, «Drawings and Pharmacy in az-Zahrawi's Fourth/Tenth Century Surgical Treatise», *United States National Museum Bulletin* (Washington) 228 (1961), 81-91. Reimpresión en *Health Sciences in Early Islam* II, 151-158. Véanse fotografías de las reconstrucciones de algunos de estos instrumentos quirúrgicos, realizadas en el Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften de Frankfurt en *L.C.A.* pp. 274-286.

[187] Cf. p. ej. J. Zozaya, «Instrumentos quirúrgicos andalusíes», *Boletín de la Asociación Española de Orientalistas* 20 (1984), 255-259.

dibujado en este libro incluye cauterios, bisturíes, tijeras, ganchos, fórceps, jeringas, cánulas, sondas, sierras, tenazas, agujas de sutura, cucharas, instrumentos de madera para reducir fracturas y luxaciones etc. Las aportaciones de al-Zahrāwī al respecto, y especialmente en el campo de la obstetricia, son notables: diseña, por ejemplo, un espéculo vaginal así como un fórceps obstétrico que anticipa el de Chamberlen aunque sólo lo utiliza para extraer el feto muerto.

A modo de conclusión señalaré que ᶜArīb b. Saᶜīd y, sobre todo, al-Zahrāwī, así como Maslama y su escuela, personajes todos ellos que desarrollan su actividad en la segunda mitad del siglo X, representan una etapa en la que al-Andalus ha asimilado lo mejor de la ciencia oriental, tanto en el terreno de las ciencias exactas como en el de las ciencias naturales, y empieza a desarrollar una producción científica propia, muy tímidamente al principio, pero de forma mucho más clara y abierta a partir de la etapa de los taifas. Esto, como veremos en el capítulo siguiente, tiene asimismo un aspecto negativo: la madurez recién alcanzada juntamente con la pérdida de la unidad política que representaba el califato — no olvidemos la importancia que tuvo la iniciativa de algunos emires (ᶜAbd al-Raḥmān II) y califas (ᶜAbd al-Raḥmān III, al-Ḥakam II) para la importación de novedades culturales procedentes de Oriente — trae consigo el inicio de una ruptura, aunque nunca total, con Oriente. La ciencia andalusí del siglo XI, heredera directa de estos grandes personajes de la segunda mitad del X, se desarrollará, en muy buena parte, sobre sus propias bases, desconectándose de Oriente. A la larga, esta será una de las causas fundamentales de la decadencia científica que se inicia en el XII y se produce claramente a partir del siglo XIII.

CAPITULO 3

LAS CIENCIAS EXACTAS

EN EL SIGLO DE ORO (1031-1086)

3.1 GENERALIDADES.

Tanto este capítulo como el siguiente[1] pretenden analizar el desarrollo de las ciencias en al-Andalus durante la etapa taifa, que sigue al fin del período de guerras civiles (*fitna*) y termina con la invasión almorávide. Por más que he denominado «Siglo de Oro» a este período, es evidente que dura poco más de cincuenta años, aunque, obviamente, se inicia antes de terminar la *fitna* y se prolonga más allá del inicio del dominio almorávide. La fase de guerras civiles introduce la anarquía en Córdoba y los científicos se ven obligados a abandonar la capital: Ṣāᶜid de Toledo afirma, de manera explícita, que Ibn al-Ṣaffār abandonó Córdoba poco antes de que se iniciara la *fitna*, refugiándose en Denia, capital del emir Muŷāhid al-ᶜĀmiri, donde murió en el 1035. Su condiscípulo Ibn al-Samḥ murió, en el mismo año, en Granada, ciudad en la que había buscado amparo, tal vez por la misma razón que su antiguo compañero, y en la que debió ser bien acogido por el monarca zirí Ḥabbūs ibn Māksan (1025-1038), cuyo ministro judío, Samuel ben Nagrella era matemáti-

[1] Mi exposición de ambos es, en buena parte, una puesta al día y ampliación del esquema trazado en un trabajo publicado en 1981 en colaboración con mi maestro J. Vernet: «Panorama de la ciencia andalusí en el siglo XI», *Actas de las Jornadas de Cultura Arabe e Islámica (1978)* (Madrid, 1981), 135-163.

co, lógico y astrónomo[2]. Esta afición por la astronomía y la astrología debió perpetuarse en la dinastía zirí tal como resulta patente a cualquier lector de las memorias del último monarca de la misma: el rey ᶜAbd Allāh[3], que reinó entre los años 1075 y 1090.

La crisis política no implicará, en modo alguno, una crisis cultural sino que, por el contrario, favorecerá el desarrollo de la ciencia y de las artes en general, al multiplicarse el número de pequeños monarcas que se mostrarán deseosos de adornar su corte tanto con científicos como con poetas. La valoración que hace el cadí Ṣāᶜid de la época en la que le ha tocado vivir es altamente positiva y sólo ve un factor negativo en el notable avance de los cristianos que trae consigo un sentimiento de inseguridad que dificulta el que los hombres decidan dedicarse a las ciencias[4]. Conviene señalar que, dentro de la tradicional enemistad que enfrenta a bereberes con «árabes» andalusíes[5], unos y otros se muestran dispuestos a acoger a los hombres de ciencia. Los tres grandes centros científicos de esta época serán Toledo -- donde se cultivan astronomía y agronomía --, Zaragoza -- dedicada fundamentalmente a la matemática -- y Sevilla -- que parece tomar el relevo de Toledo en lo relativo a los estudios agronómicos --. Ahora bien, tanto los Banū Hūd de Zaragoza, como los ᶜabbadíes sevillanos son dinastías árabes, mientras que los Banū Dī-l-Nūn de Toledo y los zīríes de Granada son bereberes y, finalmente, los ᶜāmiríes de Denia son eslavos. Córdoba pierde importancia -- aunque en ella pasará los últimos años de su vida Azarquiel, tal vez el astrónomo hispánico más importante de todos los tiempos-- pero sigue manteniendo el interés por la cultura y el historiador Ibn Saᶜīd pone de manifiesto el interés por los libros y por la formación de bibliotecas particulares que caracteriza a esta ciudad, así como también a Sevilla: tras la quema selectiva de la biblioteca de al-Ḥakam II ordenada por Almanzor, y de la segunda destrucción llevada

[2] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Būᶜ Alwān pp. 170-171; trad. Blachère pp. 130-131; M. Viladrich, *El "Kitāb al-ᶜamal bi-l-asṭurlāb" (Llibre de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samḥ. Estudi i traducció* (Barcelona, 1986) pp. 21-22.

[3] Cf. E. Levi-Provençal y E. García Gómez, *El Siglo XI en 1ª persona. Las "Memorias de ᶜAbd Allah, último Rey Zirí de Granada destronado por los Almorávides (1090)* (Alianza. Madrid, 1980), pp. 70, 77, 162, 166, 276, 304-309, 314-319. Cf. J. Samsó, «Sobre el horóscopo y la fecha de nacimiento de ᶜAbd Allāh, último rey zirí de Granada», *Boletín de la Real Academia de la Historia* 187 (1990), 209-216.

[4] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Būᶜ Alwān pp. 164-165; trad. Blachère pp. 126-127.

[5] Cf. E. García Gómez, *Andalucía contra Berbería*, Barcelona, 1976.

a cabo por los soldados bereberes en el momento de la guerra civil (1013), el mismo autor nos indica que se adquirieron libros de la biblioteca real en Sevilla, Córdoba, Almería y otras ciudades y que él mismo encontró algunos en Toledo. La afición por los libros motivó la constitución de bibliotecas particulares importantes en Almería (donde destaca la de Abū Ŷa^{c}far b. ^{c}Abbās a la que se atribuye la cifra tópica de 400000 volúmenes), Badajoz, Toledo, Zaragoza, Valencia y Granada[6].

Si debemos caracterizar, en términos generales, el desarrollo científico andalusí en este siglo XI la palabra clave, como en la etapa inmediatamente anterior, sigue siendo *orientalización*. Ahora bien, tal como he apuntado al concluir el capítulo 2, el grado de madurez alcanzado y la aparición de escuelas científicas autóctonas hará disminuir la intensidad y frecuencia de las relaciones científicas con Oriente: si en el siglo X, un veinticinco por ciento de los andalusíes oriundos del Valle del Ebro que viajan lo hacen hacia Oriente, en el siglo XI este porcentaje se reduce al once por ciento[7]. No obstante, no debe concluirse de lo anterior una total autonomía científica de al-Andalus en este siglo. Ṣā^{c}id de Toledo suministra datos interesantes acerca de viajes de esta índole en su tiempo: su contemporáneo Ibn al-Maššāṭ dará a conocer, a su regreso, un tratado de astrolabio atribuido al célebre alquimista oriental Ŷābir ibn Ḥayyān, al-Kirmānī (m. 1066) regresará con la célebre *Enciclopedia* de los Hermanos de la Pureza, Abū Marwān ^{c}Abd al-Malik b. Zuhr (abuelo del célebre médico Avenzoar) viajará por Qayrawān y Egipto, y el protector de Ṣā^{c}id, ^{c}Abd al-Raḥmān b. ^{c}Īsà b. Muḥammad (m. 1080) vive en El Cairo en 1038 y conoce allí a Ibn al-Hayṯam, el físico más importante de toda la Edad Media. Por otra parte, en los mismos datos de Ṣā^{c}id podemos ver cómo apunta un nuevo fenómeno que se desarrollará en mayor grado en los siglos siguientes: el del intelectual andalusí que no regresa sino que hace carrera en Oriente. No es significativo a este respecto el caso de Abū Isḥāq Ibrāhīm al-Išbīlī ya que muere muy joven (1029) en Egipto, pero sí el de Ibn

[6] J. Ribera, «Bibliófilos y bibliotecas en la España Musulmana», *Disertaciones y Opúsculos* I (Madrid, 1928), 204, 206-217, 221-222.

[7] Cf. J. Vernet, «El Valle del Ebro como nexo entre Oriente y Occidente», *Boletín de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona* 23 (1950), 264 (reimpresión en AR1I2, 274); M. Grau, «Contribución al estudio del estado cultural del Valle del Ebro en el siglo XI y principios del XII», B.R.A.B.L.B. 27 (1957-58), 257-258.

Ḥayy al-Tuŷībī -- al que ya he mencionado dentro de la escuela de Maslama -- el cual, tras viajar por Egipto y el Iraq, acaba afincándose en el Yemen en donde obtiene importantes cargos políticos hasta su muerte en este país en 1064[8].

Pese a lo anterior, llama notablemente la atención el que la información de la que dispone Ṣāᶜid acerca de los científicos orientales decrece notablemente cuando se trata de personajes que florecieron después de fines del siglo X y que resulten tan escasos sus conocimientos sobre científicos tan importantes como Ibn Yūnus e Ibn al-Hayṯam, cuyas obras fundamentales debieron introducirse en al-Andalus más tarde[9]: en la segunda mitad del siglo XI, como veremos, la *Optica* de Ibn al-Hayṯam y, tal vez, en el siglo siguiente las tablas astronómicas de Ibn Yūnus. Parece como si hubiera desaparecido por completo la rapidez en adquirir la bibliografía de los grandes autores orientales, que caracterizó a los siglos IX y X. Por otra parte ciertos científicos de primera categoría que surgieron en Oriente a fines del siglo X y durante la primera mitad del XI, de los que sólo mencionaré aquí el nombre de al-Bīrūnī, no parecen haber hallado nunca su camino para llegar hasta al-Andalus y, por consiguiente, hasta la Europa Latina a través de las traducciones hispánicas. Existe, no obstante, una excepción notable a esta carencia ya que, como veremos, el círculo de matemáticos y astrónomos contemporáneos y corresponsales de al-Bīrūnī llevan a cabo, en esta época, lo que puede denominarse la «revolución trigonométrica», con la aportación de una batería de teoremas nuevos de enorme trascendencia para la historia de la matemática y de la astronomía. Ahora bien, los elementos fundamentales de esta nueva trigonometría serán dados a conocer en al-Andalus por el cadí Ibn Muᶜāḏ al-Ŷayyānī (m. 1093) del que no consta explícitamente que hubiera llevado a cabo un viaje a Oriente pero cuya obra trigonométrica resulta inconcebible sin un conocimiento directo de las obras de la «escuela» trigonométrica de al-Bīrūnī[10].

Ahora bien, junto a esta tradición oriental -- aunque no actualizada -- sorprende, por su carácter exótico y anacrónico, la pervi-

[8] Sobre todo lo anterior cf. Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 150, 153, 172, 176-177, 197; trad. Blachère pp. 116, 118-119, 132-133, 135-136, 151-152.

[9] L. Richter-Bernburg, «Ṣāᶜid, the Toledan Tables, and Andalusī Science», *From Deferent to Equant* pp. 377-385.

[10] Cf. las precisiones de Richter-Bernburg, «Ṣāᶜid» pp. 381-382.

vencia de la tradición latino-mozárabe acerca de la cual ya he hablado en relación con los orígenes de la ciencia andalusí. Recordemos, a este respecto, que en al-Andalus, todavía en el siglo XI, se está llevando a cabo una labor de asimilación directa de la ciencia clásica: por una parte Dubler ha defendido la existencia de núcleos de helenistas en este siglo que justificarían la existencia de un códice griego, del siglo XI, de la *Materia Médica* de Dioscórides con glosas marginales en árabe tanto escritas con letra oriental como con letra magrebí[11]; la existencia de estos núcleos explicaría también los conocimientos del griego de que hace gala, a principios del siglo XII, el Botánico Anónimo estudiado por Asín[12], del que hablaré en el capítulo siguiente. No obstante, estos hechos parecen menos importantes que la continuidad de unos contactos con la cultura latina que quedan de manifiesto, por ejemplo, en el hecho de que el médico Ibn al-Kattānī (m. 1029) tenga por maestros no sólo a Maslama y a ᶜUmar b. Yūnus al-Ḥarrānī sino también al obispo mozárabe Abū-l-Ḥariṯ, discípulo, a su vez, del obispo-filósofo Rabīᶜ b. Zayd[13]. Estos contactos justifican la pervivencia de una tradición latina en la agronomía andalusí que, como veremos, tiene su desarrollo fundamental en este siglo. No insistiré aquí en el tema ya que apunté los datos fundamentales en el capítulo 1 en el que estudié ampliamente los orígenes latinos del *Libro de las Cruzes*. Ahora bien, sí conviene recordar que el original árabe que tuvieron a su disposición los traductores alfonsíes había sido objeto de una revisión que el texto castellano atribuye a un cierto «Oueydalla el sabio» que Millás[14] identificó con Abū Marwān ᶜUbayd Allāh b. Jalaf al-Istiŷŷī,

[11] C.E. Dubler, *La "Materia Médica" de Dioscórides. Transmisión medieval y renacentista* I (Barcelona, 1953), 53 y 85-101.

[12] C.E. Dubler en *Al-Andalus* 10 (1945), 250-252.

[13] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 192-193, trad. Blachère pp. 148-149. Sobre la importancia de Ibn al-Kattānī cf. Grau, «Contribución al estudio del estado cultural del Valle del Ebro» p. 240.

[14] J.M. Millás Vallicrosa, «Sobre el autor del "Libro de las Cruces"». *Al-Andalus* 5 (1940), 230-234; cf. también *Isis* 19 (1933), 530. Un trabajo muy reciente de M. Castells («Un nuevo dato sobre el *Libro de las Cruces* en *al-Zīŷ al-Muṣṭalaḥ* (obra astronómica egipcia del siglo XIII)», en curso de publicación en *al-Qanṭara*) ha aportado nuevos datos que demuestran que el «Oueidalla» alfonsí se llamaba, en realidad, ᶜAbd Allāh ibn Aḥmad al-Ṭulayṭulī, autor que no ha podido ser identificado. Pese a ello, el hecho de que se le denomine *Ṭulayṭulī* (Toledano) sumado a la referencia del texto alfonsí a la conjunción del año 459/1066-67 hace pensar que debió florecer a fines del siglo XI.

astrólogo contemporáneo del cadí Ṣāᶜid con el que mantuvo correspondencia[15]. Sea, o no, esta identificación correcta, es muy probable que la revisión del *Libro de las Cruzes* se llevara a cabo a fines del siglo XI ya que la última fecha citada en el texto es la conjunción de Júpiter y Saturno que tuvo lugar en 459/1066-67. El revisor ᶜAbd o ᶜUbayd Allāh halló el texto, lo explicó y le dio la forma que encontraron los traductores alfonsíes añadiéndole, probablemente, toda la casuística que le caracteriza ya que el texto contiene unas 3505 combinaciones de posiciones planetarias con su correspondiente interpretación, con lo que el libro se convierte en un manual utilizable por personas con escasos conocimientos en materia de astrología. De todos modos, ᶜAbd o ᶜUbayd Allāh -- un astrólogo competente -- se muestra crítico con respecto a los procedimientos rudimentarios utilizados por los partidarios del sistema de las cruces y sugiere confirmarlos recurriendo a los métodos más elaborados propios de los astrólogos orientales, afirmando asimismo que las predicciones astrológicas deben basarse en las posiciones verdaderas de los planetas y no en sus posiciones medias y tener en cuenta, asimismo, la precesión de los equinoccios, finuras que, como vimos en el capítulo 1, eran descuidadas por los antiguos cultivadores de esta técnica astrológica[16].

Un último rasgo para terminar con esta caracterización general de la ciencia andalusí del siglo XI está constituido por el hecho de que esta ciencia es un producto de exportación tanto hacia Oriente como hacia Occidente. Los autores de este siglo fueron objeto de traducciones latinas y ampliamente conocidos en Europa: quedará de manifiesto en las páginas siguientes la profunda influencia ejercida por los astrónomos del siglo XI en la obra de Alfonso X que, con frecuencia, nos ha conservado versiones castellanas de textos árabes de esta época que parecen perdidos. Algo similar sucede con la difusión oriental de nuestros autores que afecta también a las figuras señeras de la etapa anterior: el caso de Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī resulta bastante claro y lo mismo puede decirse de Maslama de Madrid que aparece citado, en el siglo XIV, en el prólogo de la *Nihāyat al-sūl* del gran astrónomo damasceno Ibn al-Šāṭir, como uno de los

[15] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 199-200; trad. Blachère, pp. 153-154. En lo que respecta al nombre del personaje, los manuscritos vacilan entre ᶜUbayd Allāh y ᶜAbd Allāh.

[16] J. Samsó, «The Early Development of Astrology in al-Andalus», *Journal for the History of Arabic Science* 3 (1979), 238-243.

autores que criticaron a Ptolomeo (?)[17]. Para citar ejemplos del siglo XI, empezaré por mencionar que la obra de un agrónomo andalusí, Ibn Baṣṣāl, será bien conocida en el Yemen donde un monarca rasūlī de mediados del siglo XIV, al-Malik al-Afḍal, utilizará (como también lo hizo en al-Andalus Ibn al-ᶜAwwām) la versión completa del *Kitāb al-qaṣd wa-l-bayān*, en lugar de la versión resumida que ha llegado hasta nosotros. Ejemplos de este tipo pueden multiplicarse fácilmente si pensamos en la obra de Azarquiel y a alguno de ellos aludiré más adelante, limitándome aquí a mencionar la difusión de la lámina universal y de la azafea tanto en Europa como en el Próximo Oriente. Ambos instrumentos surgieron en Toledo en fechas relativamente próximas y son susceptibles de ser utilizados para cualquier latitud sin requerir, como el astrolabio convencional, una lámina distinta para cada latitud. La lámina universal de ᶜAlī ibn Jalaf superponía al cañamazo de coordenadas propio de las azafeas una red o araña la mitad de cuyo trazado corresponde al del astrolabio, mientras que la segunda mitad constituye otra red de coordenadas que puede desplazarse sobre la de la lámina. Este instrumento fue, sin duda, conocido en Oriente ya que el astrolabio universal del astrónomo sirio del siglo XIV Ibn al-Sarrāŷ presenta, al menos en una de sus láminas, una disposición muy similar a la de de la lámina de ᶜAlī ibn Jalaf[18]. En lo que respecta a la azafea *zarqāliyya* de Azarquiel tuvo asimismo ecos en Oriente[19] pero fue la variante simplificada de la misma, denominada *šakkāziyya*, la que mayor éxito conoció tanto en el Norte de Africa como en Oriente, según testimonia la difusión de los manuscritos en los que se describe su uso. En el siglo XIV surgen los primeros cuadrantes *šakkāzíes*, derivados del instrumento de Azarquiel por astrónomos sirios como ᶜAlā' al-Dīn Ṭībugā (m. 1394) y Ŷamāl al-Dīn al-Māridīnī (m. 1406), y cuadrantes de este tipo siguen siendo utilizados en el siglo XVI por los astrónomos del ob-

[17] E.S. Kennedy y V. Roberts, «The Planetary Theory of Ibn al-Shāṭir», S.I.E.S. p. 62. De todos modos, G. Saliba me comentó en Granada (Abril, 1992) que, en su opinión, Ibn al-Šāṭir confundía a [Maslama] al-Maŷrīṭī con al-Biṭrūŷī (cf. § 5.3 y, especialmente, § 5.3.4).

[18] D.A. King, «On the Early History of the Universal Astrolabe in Islamic Astronomy, and the Origin of the Term "Shakkāzīya" in Medieval Scientific Arabic», *Journal for the History of Arabic Science* 3 (1979), 244-257; «The Astronomical Instruments of Ibn al-Sarrāj: a Brief Survey» en D.A. King, *Islamic Astronomical Instruments* (London, 1987) nº IX. Cf. también L.C.A. p. 236.

[19] Cf. p.ej. D.A. King, «The Astrolabe of ᶜAlī al-Wadāᶜī» en *Islamic Astronomical Instruments* nº VIII.

servatorio de Istambul[20]. En lo que respecta a la difusión europea del instrumento, también fue la versión simplificada la que conoció un éxito mayor, siendo objeto de traducciones al latín y al hebreo[21] y resulta muy curioso señalar que la evolución europea de la azafea presenta paralelismos notables con lo que, según hemos visto, sucede con ella en Oriente: así, por ejemplo, a principios del siglo XIV Jean de Lignères utilizará un tímpano de la azafea en el cual, como en los cuadrantes *šakkāzíes*, aparece una única red de coordenadas. Del mismo modo, un tratado anónimo manuscrito, posiblemente del siglo XV, alude a la posibilidad de completar la azafea con un disco transparente, de cuerno, con los mismos trazados que en la faz de la lámina[22]: esta superposición de dos trazados idénticos, uno fijo y otro móvil, aparecía ya, como hemos visto, en la lámina de ᶜAlī ibn Jalaf, en el cuadrante *šakkāzī* de Ŷamāl al-Dīn al-Māridinī, y sería de nuevo propuesto por astrónomos europeos renacentistas.

3.2 EL DESARROLLO DE LA MATEMATICA: ARITMETICA, GEOMETRIA Y TRIGONOMETRIA ESFERICA.

Cuando el polígrafo Ibn Ḥazm -- que vivió en la etapa de transición de la dictadura ᶜāmirí a la época de los taifas -- escribe su «Epístola sobre las excelencias de al-Andalus» (*Risāla fī faḍl al-*

[20] Cf. J. Samsó y M.A. Catalá, «Un instrumento astronómico de raigambre zarqālī: el cuadrante šakkāzī de Ibn Ṭībugā», *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona* 13 (1971-75), 5-31; J. Samsó, «A propos de quelques manuscrits astronomiques des bibliothèques de Tunis: contribution à une histoire de l'astrolabe dans l'Espagne Musulmane», *Actas del II Coloquio Hispano-Tunecino de Estudios Históricos* (Madrid, 1973), 171-190; J. Samsó, «Una hipótesis sobre cálculo por aproximación con el cuadrante šakkāzī», *Al-Andalus* 36 (1971), 383-390; D.A. King, «An analog computer for solving problems of spherical astronomy: the shakkāzīya quadrant of Jamāl al-Dīn al-Māridīnī», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 95 (1974), 220-242. Véase también, entre los trabajos recientes de D.A. King relativos a la difusión en Oriente de astrolabios universales: «Universal Solutions in Islamic Astronomy», *From Ancient Omens to Statistical Mechanics. Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe* (Copenhagen, 1987), 121-132; «Universal Solutions to Problems of Spherical Astronomy from Mamluk Egypt and Syria», *A Way Prepared. Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder* (New York-London, 1988), 153-184.

[21] J. Millàs i Vallicrosa, *Don Profeit Tibbon: Tractat de l'assafea d'Azarquiel.* Barcelona, 1933.

[22] E. Poulle, «Un instrument astronomique dans l'Occident Latin. La "Saphea"», *A Giuseppe Ermini* (Spoleto, 1970), 491-510.

Andalus) y pretende valorar las aportaciones de sus compatriotas a la cultura árabe, se las ve y se las desea para mencionar nombres de matemáticos ya que los que cita (Maslama e Ibn al-Samḥ, por ejemplo) son conocidos, hoy en día, fundamentalmente como astrónomos[23]. De hecho, como hemos visto en el capítulo anterior, existen suficientes datos en obras como las *Ṭabaqāt* del cadí Ṣāᶜid como para sospechar un desarrollo importante de la aritmética y de la geometría en el siglo X y una conexión entre la escuela de Maslama y los matemáticos del siglo XI: nuestro problema fundamental radica, no obstante, en la ausencia de textos ya que la mayor parte de las obras parecen perdidas. No ocurre lo mismo, en cambio, con el período taifa en el cual, gracias a estudios recientes, podemos valorar la importancia de tres figuras: el rey Yūsuf al-Mu'taman (o al-Mu'tamin) que reinó en la taifa de Zaragoza entre 1081 y 1085; el matemático Ibn Sayyid, maestro del filósofo Avempace, que redactó su obra en Valencia entre 1087 y 1096; finalmente, el cadí y astrónomo Ibn Muᶜāḏ (m. 1093), del cual tendré ocasión de hablar repetidamente a lo largo de este capítulo.

En lo que respecta al primero de los personajes antes citados, empezaré por señalar que las *Ṭabaqāt* de Ṣāᶜid llaman la atención sobre el importante desarrollo que adquirieron las ciencias exactas en Zaragoza durante el reinado de los Banū Hūd y los datos que nos ofrece, al relacionarlos con los de otras fuentes, nos dan la pista sobre la posible conexión entre los matemáticos de Zaragoza y la escuela de Maslama al indicarnos que el matemático y astrónomo Ibn Bargūṯ (m. 1052), que estudió con Ibn al-Ṣaffār, tuvo entre sus discípulos a ᶜAbd Allāh al-Saraqusṭī (m. 1058), el cual se afincó en Zaragoza dedicándose a la enseñanza de las ciencias exactas[24]. Otras figuras destacadas por Ṣāᶜid son el médico y astrónomo Ibn al-Kattānī (m. antes de 1029) y el matemático Abu-l-Faḍl Ḥasdāy b. Yūsuf b. Ḥasdāy, contemporáneo y amigo del cadí y nieto (?) del famoso Ḥasdāy b. Šaprūṭ, médico y diplomático judío al servicio de ᶜAbd al-Raḥmān III. A estos nombres hay que añadir los de los filósofos, también judíos, Šelomó ibn Gabirol (m. 1058) y Menahem

[23] J. Vernet, «La ciencia en el Islam y Occidente», E.H.C.M. p. 37 y *n.* 69.

[24] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 173 y 175; trad. Blachère pp. 133-135.

ibn al-Fawwāl[25]. En el conjunto de personajes citados hay que destacar no sólo el interés por la matemática sino también por la lógica y, *muy especialmente, por la física*, disciplina que parece haber interesado también a al-Mu'taman[26]. Sobresale, por otra parte, la importancia de los científicos judíos que pueden haber sido el origen de los conocimientos acerca del calendario israelita de que hace gala el propio Ṣāᶜid[27]: estos conocimientos son notablemente precisos. Llama, sobre todo, la atención el que Saᶜid mencione un año lunar simple de 354 días, 8 + 876/1080 horas[28], que corresponde a un mes sinódico medio de 29^d 12 + 793/1080^h (equivalente a 29^d 12^h 44^m 3;20^s), un parámetro de origen babilónico, conocido por la astronomía griega y utilizado, por ejemplo, por Maimónides en su tratado *Sobre la santificación de la luna nueva*[29].

En este ambiente debió formarse el rey al-Mu'taman, hijo de otro rey mecenas y con fama de matemático: al-Muqtadir (1047-1081). Cuando Ṣāᶜid escribe sus *Ṭabaqāt* lo considera un joven matemático con talento prometedor y no menciona ninguna de sus obras, pero otras fuentes[30] le atribuyen un tratado de Optica y, sobre todo, el gran libro denominado *al-Istikmāl* («Perfeccionamiento»), una obra con la que el monarca pretendía poner a disposición de los estudiosos un gran tratado de geometría, astronomía y teoría de los números que complementara lo expuesto por los clásicos griegos. En el siglo XII Ibn ᶜAqnīn (c. 1160-1226) aconseja su lectura a los estudiantes de geometría junto con los *Elementos* de Euclides, las

25 Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 192-193, 204-206; trad. Blachère pp. 148-149, 158-160.

26 Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān p. 181; trad. Blachère p. 139.

27 Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 201-202; trad. Blachère pp. 155-156.

28 Posiblemente se trata del mismo parámetro mencionado en los cánones de las *Tablas de Toledo* que hablan de un año lunar de 354 + 1/5 + 1/6 d = 354^d 8^h 48^m (Millás, *Azarquiel* pág. 59). El que nos menciona Ṣāᶜid equivale a 354^d 8^h 48^m 40^s.

29 S. Gandz, J. Obermann y O. Neugebauer, *The Code of Maimonides. Book Three. Treatise Eight. Sanctification of the New Moon*, Yale University Press. New Haven, 1967, pp. 114-115.

30 Una revisión general de las fuentes secundarias de las que se dispone acerca de la figura y la obra de al-Mu'taman puede encontrarse en A. Djebbar, *Deux mathématiciens peu connus de l'Espagne du XI^e siècle: al-Mu'taman et Ibn Sayyid*, Paris, 1984 (ciclostilado). Cf. también A. Djebbar, «Las matemáticas en al-Andalus a través de las actividades de tres sabios del siglo XI», L.C.A., 23-35.

Esféricas de Teodosio y las de Menelao, varias obras de Arquímedes y las *Cónicas* de Apolonio. Esta obra de al-Mu'taman tuvo, pues, una gran reputación y se difundió ampliamente en el Magrib donde era citada todavía en el siglo XV. En lo que respecta al Oriente Islámico, fue introducida en Egipto por Maimónides y por sus discípulos y era bien conocida en Bagdad en el siglo XIV ya que el geómetra Muḥammad ibn Sartāq al-Marāgī llevó a cabo una recensión del *Istikmāl* en la *madrasa niẓāmiyya* de aquella capital.

Lo anterior constituye un resumen de lo que se conocía hasta 1986, año en el que Hogendijk[31] descubrió cuatro fragmentos de esta obra contenidos en cuatro manuscritos distintos, que tratan de teoría de los números (a la manera de los libros aritméticos de los *Elementos* de Euclides), geometría plana, concepto de razón y proporción matemáticas (*Elementos*, libros V y VI), geometría de la esfera (siguiendo las *Esféricas* de Teodosio y Menelao), secciones cónicas (siguiendo las *Cónicas* de Apolonio), geometría de los sólidos (paralepípedos, pirámides, poliedros regulares etc. con materiales derivados de *La Esfera y el Cilindro* de Arquímedes). En conjunto parece que, si bien al-Mu'taman se había propuesto escribir un tratado general que abarcara geometría, astronomía y, quizás, óptica, sólo pudo concluir la parte geométrica de su obra. En opinión de Hogendijk la parte conservada constituye un resumen inteligente y eficaz de otras fuentes al que se añaden algunas contribuciones originales. Vale la pena subrayar la categoría de las fuentes citadas y utilizadas por al-Mu'taman: a las obras clásicas que acabo de citar hay que añadir los *Data* de Euclides, los tratados de Ṯābit ibn Qurra sobre los números amigos y sobre la figura transversal (teorema de Menelao), el libro de Ibrāhīm b. Sinān sobre la cuadratura de la parábola, el comentario de Eutocio al segundo libro de *La Esfera y el Cilindro* de Arquímedes, el *Almagesto* de Ptolomeo, la *Optica* de Ibn al-Hayṯam y su libro sobre análisis y síntesis, el tratado de los Banū Mūsà sobre la medida de figuras planas y esféricas etc. Todo ello implica la

[31] J.P. Hogendijk, «Discovery of an 11th-Century Geometrical Compilation: the Istikmāl of Yūsuf al-Mu'taman ibn Hūd, King of Saragossa», *Historia Mathematica* 13 (1986), 43-52; «Le roi-geomètre al-Mu'taman ibn Hūd et son Livre de la Perfection (Kitāb al-Istikmāl)», *Premier Colloque International sur l'Histoire des Mathématiques Arabes. Alger, 1, 2, 3 Décembre 1986* (Alger, 1988), 53-66; «The Geometrical Parts of the *Istikmāl* of Yūsuf al-Mu'taman ibn Hūd (11th century). An Analytical Table of Contents», *University Utrecht, Department of Mathematics. Preprint nr. 626 (November 1990)*. Acaba de aparecer en los *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 41 (1991), 207-281.

existencia, en la Zaragoza de la época, de una importante biblioteca real en la que se encontraba la bibliografía básica para el estudio de la matemática superior: buena parte de las obras correspondientes a la antigüedad clásica debía ser bien conocida en al-Andalus ya que aparece citada por Ṣāᶜid[32] pero tiene gran interés la mención de la *Optica* de Ibn al-Haytam ya que constituye, probablemente, el primer indicio de la rápida difusión en al-Andalus de esta obra. Por otra parte, tal como señala Hogendijk, al-Mu'taman transcribe, a veces, ciertas proposiciones tomándolas literalmente de sus fuentes pero, otras veces, las redacta de forma más sucinta e introduce modificaciones y simplificaciones. Ya que estas nuevas formulaciones no se encuentran en ninguna fuente conocida, cabe preguntarse hasta qué punto el *Istikmāl* contiene aportaciones originales de nuestro rey-geómetra. El análisis realizado por el joven erudito holandés muestra que existen motivos para creer en la originalidad de al-Mu'taman el cual aporta, por ejemplo, una solución nueva, más elegante que las conocidas anteriormente, al problema clásico de las dos medias proporcionales así como al llamado «problema de Alhacén» (Ibn al-Haytam) consistente en construir el punto de reflexión en un espejo circular dado, si conocemos las posiciones del ojo y del objeto. El *Istikmāl* contiene, asimismo, las aportaciones originales de al-Mu'taman al problema arquimédeo de determinar el área de un segmento parabólico que será igual a cuatro tercios del área del triángulo con la misma base que el segmento y cuyo vértice se encontrará en un punto de la parábola definido por la condición de que la tangente de la parábola en este punto sea paralela a la base. La demostración arquimédea no fue conocida en el mundo árabe y al-Mu'taman, que trabajó siguiendo a Ibrāhīm b. Sinān, intentó generalizar el método de este último para la hipérbola y la elipse, llegando a resultados nada triviales que revelan sus profundos conocimientos de la teoría de las secciones cónicas de Apolonio. Puede, por tanto, afirmarse que al-Mu'taman era un geómetra de primera categoría.

Mucho más difícil resulta situar en su contexto la obra del segundo de los matemáticos antes citados, Abū Zayd ᶜAbd al-Raḥmān b. Sayyid, perteneciente a la generación de matemáticos jóvenes de los que Ṣāᶜid se limita, prácticamente, a mencionar los nombres[33]. De él sabemos que se formó y residió en la región de Valencia y

[32] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 85-88; trad. Blachère pp. 70-71.

[33] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 180-181; trad. Blachère p. 139.

que, en el año 1063, estudiaba la ciencia de las particiones sucesorias (*ᶜilm al-farā'iḍ*) en Játiva: conviene señalar al respecto la posible presencia, en la zona, de epígonos de la escuela de Maslama ya que el matemático Muḥammad b. Aḥmad ibn al-Layṯ (m. 1015)—al que hemos encontrado en el árbol genealógico de la escuela de Maslama — ejerció como cadí en Surrió, cerca de Játiva[34], aunque no puede, dada la fecha de su muerte, haber sido maestro directo de Ibn Sayyid. Disponemos de referencias a la obra matemática de este autor gracias a algunas citas indirectas y, sobre todo, gracias a un opúsculo de su discípulo el gran filósofo y físico Avempace (Ibn Bāŷŷa)[35] quien señala que la obra geométrica de su maestro fue llevada a cabo entre 1087 y 1096, quedó inacabada y nunca adquirió la forma definitiva de un libro. Un matemático magribí, Ibn Munᶜim, atribuye, por otra parte, a Ibn Sayyid una epístola de carácter aritmético en la que habría estudiado los números poligonales desde el punto de vista de las series aritméticas, llegando a resultados relativos a los sumatorios de estas series así como de toda una familia de subseries. Todo ello dentro de la tradición de la *Aritmética* de Nicómaco de Gerasa la cual, en la traducción árabe de Ṯābit ibn Qurra, parece que era conocida en Córdoba en el siglo X. En lo que respecta a sus investigaciones geométricas, a las que alude Avempace, siguen la línea de las *Cónicas* de Apolonio, pero dan muestras de una originalidad notable ya que elaboran una nueva serie de definiciones sobre las cónicas que son equivalentes, pero no idénticas, a las de Apolonio y que abren nuevas vías a la investigación que sólo podemos atisbar dada la escasez de materiales conservados. Por otra parte, dentro también de esta misma línea de trabajo, Ibn Sayyid estudia la existencia y propiedades de curvas planas de grado superior al segundo y que no son secciones cónicas, ocupándose asimismo de problemas clásicos como el de la trisección del ángulo y el de la determinación de las dos medias proporcionales.

Nuestro tercer matemático, Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad ibn Muᶜāḏ al-Ŷayyānī (m. 1093) resulta mucho mejor conocido ya que dos de sus obras fundamentales han sido editadas y traducidas: me refiero a su comentario al concepto de *razón* matemática, tal como lo expone Euclides, tomándolo de Eudoxo, en la definición 5ª del

[34] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān p. 176; trad. Blachère p. 135.

[35] A. Djebbar, «Deux mathématiciens peu connus» pp. 7-16.

libro V de los *Elementos*[36], y a su tratado sobre trigonometría esférica[37]. En lo que respecta al personaje, conviene señalar que la mayor parte de los estudios sobre el mismo han identificado a Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Yūsuf b. Muᶜāḏ al-Ŷuhanī (n. 989), un estudioso del Corán conocedor de la filología árabe, de las particiones sucesorias y de la aritmética, con su casi homónimo Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Ibrāhīm b. Muḥammad b. Muᶜāḏ al-Šaᶜbānī (m. 1093) que es, probablemente, nuestro matemático[38]. Ibn Muᶜāḏ fue cadí de Jaén y perteneció a una familia de cadíes y alfaquíes afincada en esta región por lo menos desde el reinado de ᶜAbd al-Raḥmān II: esto justifica el que, además de al-Šaᶜbānī (*nisba* que utilizan otros miembros de su familia) se le haya denominado también al-Ŷayyānī (de Ŷayyān = Jaén). Desgraciadamente carecemos, casi por completo, de información acerca de su biografía y el carácter extraordinariamente innovador, dentro del contexto andalusí, de su obra matemática no puede explicarse sólo debido a un viaje a Oriente que las fuentes no mencionan[39].

La *Maqāla fī šarḥ al-nisba* («Comentario al concepto de *razón*») se inscribe dentro de una tradición de investigación geométrica que hemos visto claramente documentada en la obra de al-Mu'taman y de Ibn Sayyid y que, probablemente, remonta a una etapa muy anterior: recordemos, sin ir más lejos, que Ibn al-Samḥ es autor de un comentario, probablemente de carácter introductorio, a los *Elementos* y de un gran tratado de Geometría (cf. § 2.5.2.1), aunque ninguna de las dos obras parecen haberse conservado. El problema con el que se enfrenta Ibn Muᶜāḏ en esta obra radica en que el concepto griego *primario* de «razón» se basa en que el cociente de dos magnitudes sea un número racional es decir que, para que exista una «razón», es preciso que las dos magnitudes que se comparan sean comensurables. Ahora bien, parece que Euclides dejó abierta (aunque no desarrolló) la posibilidad de que el concepto de razón se aplicara a la relación

[36] E.B. Plooij, *Euclid's conception of ratio and his definition of proportional magnitudes as criticized by Arabian commentators. Including the text in facsimile with translation of the commentary on ratio of Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad ibn Muᶜādh al-Djajjānī*, Rotterdam, 1950.

[37] M.V. Villuendas, *La trigonometría europea en el siglo XI. Estudio de la obra de Ibn Muᶜāḏ, El Kitāb maŷhūlāt*, Barcelona, 1979.

[38] Cf. Sezgin, *G.A.S.* V, 109; Richter-Bernburg, «Ṣāᶜid» p. 381.

[39] La presunta estancia en El Cairo entre 1012 y 1017 no le corresponde a él sino a su homónimo Ibn Muᶜāḏ al-Ŷuhānī.

entre dos magnitudes incomensurables, que daría como resultado un número irracional. Esta vía fue explotada por matemáticos árabes como Ibn al-Hayṯam y ᶜUmar al-Jayyāmī los cuales distinguen las razones numéricas (de cociente racional) de las no numéricas (de cociente irracional), caracterizándose estas últimas por el hecho de que el procedimiento euclídeo para hallar el máximo común divisor mediante divisiones sucesivas no llega nunca a su fin ya que la cadena de cocientes es infinita. Dado este tipo de desarrollos, se discutió en el mundo árabe -- como en Europa a partir del Renacimiento -- hasta qué punto la 5ª definición del libro V de Euclides resultaba aplicable a la nueva manera de ver el problema. Ibn Muᶜāḏ, con su libro, logra un éxito notable en su defensa de Euclides y logra la primera comprensión conocida de la brillante definición euclídea, haciéndola compatible con los desarrollos matemáticos posteriores y moviéndose en una línea de pensamiento muy semejante a la de Ibn al-Hayṯam. Téngase en cuenta que la mencionada definición, aparte algunas glosas breves en el Euclides latino medieval, se entendió rara vez en Europa antes de Isaac Barrow en el siglo XVII[40].

La obra trigonométrica de Ibn Muᶜāḏ se contiene en su *Kitāb maŷhūlāt qisī al-kura* («Libro de las incógnitas de los arcos de la esfera») que es, sin duda, el más antiguo tratado de trigonometría del Occidente Medieval y el texto en el que esta disciplina se independiza de la astronomía: la obra sólo contiene una alusión astronómica en el prólogo. En Oriente pueden citarse como obras más o menos equivalentes las *Maqālīd ᶜilm al-hayᵓa* («Claves de la astronomía») de al-Bīrūnī (pese a que, en esta obra, el interés por la astronomía resulta manifiesto)[41], el *Kitāb tašrīḥ al-kura* de Muḥammad b. al-Ḥasan al-Ŷuyūbī (fl. probablemente en el s. XI) y el *Ŷāmiᶜ qawānīn ᶜilm al-hayᵓa* (de autor anónimo y fecha desconocida aunque anterior a 1234). Todo esto antes de que, en el siglo XIII, aparezca el *Kitāb šakl al-qaṭṭāᶜ* de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī.

En esta obra, Ibn Muᶜāḏ nos ofrece un tratado de carácter general en el que se ocupa de todos los casos posibles de resolución

[40] Además del estudio de Plooij antes citado cf. Y. Dold-Samplonius y H. Hermelink, «Al-Jayyānī», D.S.B. VII (Nueva York, 1973), 82-83; J. Murdoch, «Euclid», D.S.B. IV (Nueva York, 1971), 441.

[41] M.Th. Debarnot, *Al-Bīrūnī: Kitāb maqālīd ᶜilm al-hayᵓa. La Trigonométrie sphérique chez les Arabes de l'Est à la fin du X^e siècle*, Damasco, 1985.

de triángulos esféricos, tanto rectángulos como generales[42]. Su punto de partida es el teorema de Menelao -- única arma trigonométrica de la que disponía, por ejemplo, Maslama -- que tiene el obvio inconveniente de relacionar, entre sí, seis magnitudes pertenecientes a dos triángulos distintos que se cruzan, razón por la cual los autores árabes denominaron *šakl al-qaṭṭāᶜ* («teorema de la secante») a este teorema. La «revolución trigonométrica» que tuvo lugar en Oriente a fines del siglo X y principios del XI, había desarrollado una batería de teoremas que se caracterizaban por relacionar entre sí sólo cuatro magnitudes que, en la mayoría de los casos, eran elementos de un único triángulo esférico. Ibn Muᶜāḏ expone y demuestra (en algunos casos) seis de estos teoremas que son los siguientes (cf. fig. 11):

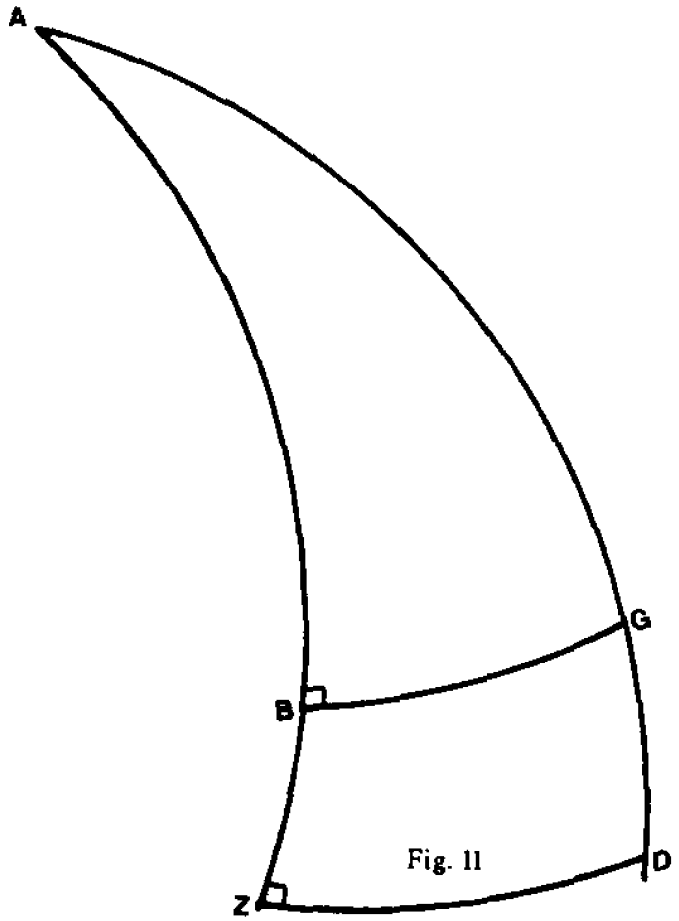


Fig. 11

[42] Sobre todo lo que sigue cf. J. Samsó, «Notas sobre la trigonometría esférica de Ibn Muᶜāḏ», *Awrāq* 3 (1980), 60-68.

1. *Teorema del seno*: sen A/sen a= sen B/sen b= sen G/sen g
2. *Regla de las cuatro cantidades*:
   sen AG/sen GB = sen AD/sen DZ
3. *Teorema de Geber*: sen A/sen B = cos G/cos g
   formulado también como: sen a/sen b = cos G/cos g
4. *Teorema del coseno*: cos b/cos a = cos g/sen B
5. tg b cos G = tg a sen B
   y también: tg b cos A = tg g sen B
6. *Teorema de las tangentes*:
   sen a tg G = tg g sen B
   sen g tg A = tg a sen B

De los seis teoremas anteriores, el primero (teorema del seno) lo formula Ibn Muᶜāḏ con carácter general, mientras que restringe los restantes a triángulos esféricos rectángulos. En conjunto, los seis teoremas abren sus puertas a una nueva trigonometría muy distinta de la usual en las tablas astronómicas que es, precisamente, la que expone el propio Ibn Muᶜāḏ en sus *Tabulae Jahen* de las que hablaré enseguida (§ 3.3.2.2). Esto llama particularmente la atención dado que las *Tabulae Jahen* son posteriores al *Kitāb al-maŷhūlāt*: lo sabemos con certeza ya que el texto latino de los cánones de aquellas mencionan el tratado de trigonometría («secundum quod ostendimus [...] in libro nostro de extractione ignotorum arcuum sphaerae»). Por otra parte, ciertos aspectos en el desarrollo del texto del *Kitāb al-maŷhūlāt* hacen creer en una posible influencia directa de matemáticos orientales — pertenecientes al grupo de predecesores y contemporáneos de al-Bīrūnī — como Abū Naṣr, Abū-l-Wafā' y el propio al-Bīrūnī. Asimismo, cuando Ibn Muᶜāḏ sistematiza, en 16 casos, la resolución de triángulos esféricos rectángulos, es curioso constatar que los 16 casos van enumerados en el orden siguiente: 1, 9, 10, 11, 3, 12, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16. Esto puede, tal vez, justificarse como una reordenación, debida a Ibn Muᶜāḏ, de una lista previa, tomada por nuestro autor de un manual de trigonometría oriental. Parece claro, pues, que nuestro autor depende de fuentes orientales por más que no pueda determinarse de qué fuentes se trata ni cómo tuvo acceso a ellas. Por otra parte, nuestro texto contiene también desarrollos originales como su resolución de un triángulo mediante el

uso de un triángulo polar de manera independiente de la utilizada por Abū Naṣr[43].

Hemos visto, en el desarrollo anterior, que Ibn Muᶜāḏ utiliza, en su tratado, la función tangente aunque sin darle nombre propio ya que siempre habla de *sen a/cos a*, huyendo de las funciones trigonométricas usuales en las tablas astronómicas, que suelen denominarse *al-ẓill al-mabsūṭ* (sombra extensa) y *al-ẓill al-mankūs* (sombra conversa). Estas dos funciones corresponden a la sombra proyectada por un gnomon, cuya longitud suele estimarse en 12 dígitos, perpendicular (sombra extensa) o paralelo al suelo (sombra conversa), con lo que *al-ẓill al-mabsūṭ* equivale a *12 cotg a* y *al-ẓill al-mankūs* a *12 tg a*. Si tenemos en cuenta que las funciones seno y coseno suelen tabularse en función de un radio del círculo de 60 partes, se entenderá el que el uso de dos sistemas diferentes de unidades obligaba a la realización de operaciones un tanto engorrosas cuando se debían utilizar al mismo tiempo senos (o cosenos) y tangentes (o cotangentes). Por otra parte las tablas de «sombras» no manifestaban con claridad el que se tuviera conciencia de las relaciones:

tg a = sen a / cos a
cotg a = cos a / sen a

Todo ello es superado por Ibn Muᶜāḏ quien nos ofrece, dentro de su *Kitāb al-maŷhūlāt* una tabla de *tg a = sen a / cos a* que, probablemente, deriva de la tabla de senos de al-Jwārizmī-Maslama. Por otra parte, dado que los que esta última nos ofrece es:

Sen a = 60 sen a
Cos a = 60 cos a

resulta obvio que, al efectuarse la división *60 sen a / 60 cos a*, se elimina el valor del radio en el numerador y denominador y la tangente resultante aparece, automáticamente, calculada para r=1. Es decir, que nos encontramos con los valores actualmente en uso para la tangente, aunque expresados en notación sexagesimal. En este sentido Ibn Muᶜāḏ parece adoptar, tímidamente, una actitud similar a la de autores orientales como Abū-l-Wafā', Abū Naṣr y al-Bīrūnī quienes habían reconocido que el uso de r=1 simplificaría el cálculo trigonométrico. Recordemos, por otra parte, que esta es la segunda vez que, en el contexto andalusí, nos encontramos con valores calculados con esta unidad ya que, en el *Calendario de Córdoba* (§

[43] M.Th. Debarnot, «Introduction du triangle polaire par Abū Naṣr b. ᶜIrāq», *Journal for the History of Arabic Science* 2 (1978), p. 132 n. 30.

2.4.3) nos aparecían cotangentes (sombras extensas) para g=1 ya que el gnomon utilizado era la estatura de un hombre de pie.

La tabla de tangentes de Ibn Muᶜāḏ resulta, asimismo, interesante por otro motivo: nuestro autor nos da, como al-Jwārizmī-Maslama en su tabla de senos, las tangentes de grado en grado pero, tras ofrecernos el valor correspondiente a la tangente de 89°, sigue con las tangentes de 89;15°, 89;30°, 89;45° y 89;59°, tal vez con la finalidad de mostrar el rápido incremento de la función a partir de 89°. Estos valores no pueden calcularse a partir de la tabla de senos de al-Jwārizmī-Maslama sin interpolación. El mismo Ibn Muᶜāḏ, en sus *Tabulae Jahen*, expone el procedimiento para interpolar linealmente, pero los valores que se obtienen con él sólo coinciden con los de la tabla de tangentes del *Kitab al-maŷhūlāt* hasta la primera fracción sexagesimal. Tampoco se obtienen resultados satisfactorios deduciendo las tangentes de los tres primeros argumentos citados a partir de la tabla de cuerdas de Ptolomeo (calculada de medio en medio grado, por lo que pueden obtenerse senos de cuarto en cuarto de grado). Fracasados todos los intentos de encontrar una fuente de la que Ibn Muᶜāḏ hubiera podido tomar estos valores, García Doncel demostró[44] que habían sido obtenidos, a partir de la tabla de senos de al-Jwārizmī-Maslama, mediante interpolación cuadrática que aparece, así, documentada por vez primera en al-Andalus. El mismo procedimiento de interpolación habría sido utilizado también por Ibn Muᶜāḏ para calcular los valores, extraordinariamente precisos, de los senos de 0;13,56° y 80;36,58° con los que trabaja en su *Liber de crepusculis* (§ 3.3.7).

De todo lo expuesto hasta aquí puede deducirse el extraordinario interés de la obra matemática de Ibn Muᶜāḏ, una de las dos figuras cimeras -- la otra es Azarquiel -- de las ciencias exactas en el siglo XI andalusí y uno de los matemáticos más importantes que han surgido en la Península Ibérica en todos los tiempos. Desgraciadamente para el desarrollo de la cultura europea, no parece que su comentario sobre el concepto de *razón* ni su tratado de trigonometría hubieran sido objeto de traducciones latinas. Sí lo fueron, en cambio, dos obras suyas de menor trascendencia de las que me ocuparé en este mismo capítulo: me refiero a las *Tabulae Jahen* y al *Liber de crepusculis*. La aportación trigonométrica de Ibn Muᶜāḏ

[44] M.G. Doncel, «Quadratic Interpolations in Ibn Muᶜādh». *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 32 (1982), 68-77.

ejerció, no obstante, una influencia por lo menos indirecta ya que constituyó la fuente a través de la cual la nueva trigonometría se introdujo, en el siglo XII, en el *Islāḥ al-Maŷisṭī* de Ŷābir ibn Aflaḥ (§ 5.2.4), obra que sí fue traducida al latín. Por otra parte, en fecha reciente, se ha sugerido una posible influencia directa de la obra de Ibn Muᶜāḏ en el *De triangulis* de Regiomontano[45], obra que constituye la primera exposición clara de la nueva trigonometría en un contexto europeo.

3.3 LA ASTRONOMIA.

3.3.1 GENERALIDADES.

La renovación de la actividad matemática viene acompañada, en al-Andalus en el siglo XI, por una reactivación, aún mayor, de la investigación astronómica por más que ésta presenta ciertas características singulares. Mientras la actividad matemática se encuentra dispersa entre Zaragoza, Valencia y Jaén, la astronomía parece concentrarse primariamente en Toledo donde surge un núcleo de jóvenes investigadores supuestamente reunidos en torno a la figura de un mecenas astrónomo: el tantas veces citado cadí Ṣāᶜid. Por otra parte se supone también la existencia de un mecenazgo por parte del emir Yaḥyà al-Ma'mūn (1037-1074) cuya corte se convierte en un importante centro de atracción para científicos y hombres de letras. El título honorífico adoptado por el monarca hace pensar en la posibilidad de un intento de emulación con su homónimo oriental: el califa ᶜabbasí al-Ma'mūn que promocionó, en torno al año 830, un programa de observaciones astronómicas cuyo resultado final fueron las célebres *Tablas ma'mūníes*. Por más que no se disponga de datos concretos acerca del modo como pudo haberse ejercido el mecenazgo científico del al-Ma'mūn toledano, existen indicios, sobre los que insistiré más adelante, de que esta actividad debió ejercerse efectivamente tanto en lo que respecta a la investigación agronómica en un jardín botánico como en el campo concreto de la astronomía: no se explicaría de otro modo el que tanto ᶜAlī ibn Jalaf como Azarquiel

[45] N.G. Hairetdinova, «On Spherical Trigonometry in the Medieval Near East and in Europe», *Historia Mathematica* 13 (1986), 136-146.

redactaran sendos tratados sobre sus instrumentos universales (lámina universal y azafea) para dedicárselos al monarca.

Pese a los testimonios que, como veremos, son tardíos, a la existencia de un equipo de astrónomos dedicados a la observación, lo cierto es que la evidencia al respecto es escasísima y no se conserva ni una sola descripción detallada de una observación ni del instrumental utilizado. Las referencias concretas a observaciones realizadas por unos u otros pueden contarse con los dedos de una mano y corresponden, en buena parte, a las ya aducidas en el capítulo anterior en relación con la escuela de Maslama. Lo más notable son los veinticinco años de observaciones solares de los que se jacta Azarquiel y los treinta y siete de observaciones lunares que le atribuye Ibn al-Hā'im (§ 3.3.4, 3.3.5, 5.2.3). Tales observaciones debieron, sin duda, realizarse aunque no conocemos ni un solo detalle. Por otra parte, pese a las referencias al supuesto equipo de trabajo, lo cierto es que esta etapa, la más brillante de la historia de la astronomía andalusí, está dominada por un solo nombre: el de Azarquiel. Me veré obligado, en las páginas siguientes, a ocuparme del cadí Ṣāᶜid, de ᶜAlī b. Jalaf y de Ibn Muᶜāḏ, entre otros, pero ninguno de ellos lleva a cabo la actividad desbordante ni tiene, en modo alguno, la importancia de un Azarquiel cuya obra trasciende, con mucho, las fronteras de al-Andalus. En Azarquiel tenemos, sin duda, una figura de primera fila para la historia de la astronomía medieval.

Centrábamos, en el capítulo anterior, los inicios de una actividad astronómica creativa en la escuela de Maslama y sorprende notablemente el que desconozcamos la existencia de ningún tipo de conexión entre esta escuela y el grupo de astrónomos toledanos que, presuntamente, rodean a al cadí Ṣāᶜid. Este, cuya única obra conservada son sus *Ṭabaqāt*, nace en Almería en 1029 y parece haber recorrido al-Andalus con el fin de realizar estudios que, en un principio, debían de tener carácter jurídico-religioso. Cuando, en 1046, decide dedicarse a las ciencias exactas, se dirige a Toledo donde estudia con al-Waqqāšī (m. 1095) y con Abū Isḥāq Ibrāhīm b. Idrīs al-Tuŷībī (m. 1062): ninguno de los dos es un astrónomo de renombre y no existe evidencia alguna de una posible conexión de estos personajes con los discípulos de Maslama. Si, como parece probable, Ṣāᶜid mantuvo relaciones con el grupo de científicos de Zaragoza es posible que se

viera sometido a la influencia maslamiana en aquella capital[46]. Insisto en el tema ya que tal influencia existe, por lo menos en algunos aspectos. Me limitaré a llamar la atención sobre un hecho bien conocido: la persistencia de la tradición indo-irania del *Sindhind* sobre la que tanto habían trabajado Maslama y sus discípulos. En el siglo XII, Ibn Gālib dirá que los andalusíes son «*hindúes* por la importancia que conceden a las ciencias, su amor por ellas y el celo que les dedican para conocerlas y difundirlas con exactitud»[47]. El propio Ṣāᶜid, pese a valorar notablemente la astronomía ptolemaica, parece insistir siempre, en sus *Ṭabaqāt*, en que la introducción de esta nueva astronomía en el mundo árabe no ha implicado en modo alguno el abandono de la tradición india y que esta influencia parece particularmente notable en al-Andalus[48]. Obviamente se conoce a Ptolomeo y su influencia resulta, en general, predominante pero, de manera sorprendente, no sólo Ibn Muᶜādˍ escribe unas *Tabulae Jahen* dentro de la escuela del *Sindhind* sino que ecos de la misma aparecen repetidamente en las *Tablas de Toledo* y esta tendencia continuará tanto en al-Andalus como en la España Cristiana hasta que los colaboradores del rey Alfonso X, en la segunda mitad del siglo XIII, sustituyan la escuela *Sindhind-Toledo* por la influencia de al-Battānī en la *segunda* versión de las célebres *Tablas Alfonsíes*. De hecho, en la obra del propio Azarquiel y en contextos a veces inesperados, los ecos hindúes aparecen con notable frecuencia. Dentro de las dos grandes obras teóricas de Azarquiel, el libro *Sobre el año solar* se encuentra posiblemente influido por la obra con el mismo título de Ṯābit b. Qurra -- basada en observaciones ma'mūníes -- y esta es la única influencia nueva que puede apreciarse en la astronomía andalusí de este período; en cambio, el tratado *Sobre el movimiento de las estrellas fijas* analiza con sumo detalle la teoría de la trepidación a la que se atribuye un origen clásico pero pasado por un tamiz indio: todas las referencias que dan, a este respecto, las *Ṭabaqāt* del

[46] Sobre la biografía de Ṣāᶜid cf. Blachère, *Ṭabaqāt* págs. 6-12; M. Plessner, «Der Astronom und Historiker Ibn Ṣāᶜid al-Andalusī und seine Geschichte der Wissenschaften», *Rivista degli Studi Orientali* 31 (1956), 235-257.

[47] H. Perès, *Esplendor de al-Andalus. La poesía andaluza en árabe clásico en el siglo XI. Sus aspectos generales, sus principales temas y su valor documental*, trad. M. García Arenal, Madrid, 1983, p. 26.

[48] M.S. Khan, «Qāḍī Ṣāᶜid's Account of Medieval Arab Astronomy», *Islamic Culture* (July 1980), 153-162 (cf. p. 157).

cadí Ṣāʿid insisten en el cultivo de esta teoría por astrónomos orientales de la escuela del *Sindhind* o de otras del mismo origen.

3.3.2 LAS TABLAS ASTRONOMICAS.

3.3.2.1 *Las Tablas de Toledo.*

Dos son las colecciones de tablas astronómicas hispánicas que han logrado una enorme aceptación: las *Tablas de Toledo* y las *Tablas Alfonsíes*. Ambas tienen en común unos orígenes extraordinariamente oscuros. En lo que respecta a las *Tablas de Toledo* recordemos que el original árabe parece perdido pero que fueron traducidas dos veces al latín (la segunda por Gerardo de Cremona) y que Toomer registra 128 manuscritos latinos que contienen los cánones y/o las tablas correspondientes[49]. Como ilustración de su fama recordemos que fueron también traducidas al griego hacia 1330-1340[50] y que Geoffrey Chaucer (1340?-1400), autor que conocía y manejaba las *Tablas Alfonsíes*, da una curiosa descripción de las de Toledo en relación con la preparación de un acto mágico en los *Cuentos de Canterbury*:

> His tables Toletanes forth he broght,
> Ful wel corrected, ne ther lakked noght,
> Neither his collect ne his expans yeres,
> Ne his rotes ne his othere geres,
> As been his centres and his arguments,
> And his proporcionels convenients
> For his equacions in every thing[51].

[49] G.J. Toomer, «A Survey of the Toledan Tables» *Osiris* 15 (1968), 5-174 (cf. pp. 160-170 para la lista de manuscritos). El trabajo de Toomer es el estudio básico sobre las tablas numéricas. En lo que respecta a los cánones cf. F. S. Pedersen, «Canones Azarchelis. Some Versions and a Text», *Cahiers de l'Institut du Moyen-Age Grec et Latin* (Université de Copenhague) 54 (1987), 129-218; «Scriptum Johannis de Sicilia super canones Azarchelis de Tabulis Toletanis». C.I.M.A.G.L. 51 (1986), 1-128 y 52 (1986), 1-268.

[50] D. Pingree, «The Byzantine Version of the Toledan Tables: the Work of George Lapithes?», *Dumbarton Oaks Papers* 30 (1976), 87-132.

[51] *Canterbury Tales* ed. W.W. Skeat, London, 1961, p. 451 (el pasaje citado corresponde a *The Franklin's Tale*).

Suelen atribuirse las *Tablas de Toledo* al resultado de la labor colectiva de un grupo de astrónomos dirigidos por el cadí Ṣāᶜid. La evidencia al respecto se basa en testimonios tardíos. Uno de ellos es el del historiador judío de Toledo Isaac Israelí el cual, en su *Yesod ha-ᶜOlam* -- obra escrita en 1310 -- insiste en la labor de investigación astronómica patrocinada por Ṣāᶜid en la que participaron un conjunto de doce astrónomos, la mayoría de los cuales eran musulmanes aunque había también algunos judíos (?). Dentro de estas investigaciones se llevaron a cabo observaciones astronómicas y destacó la figura de Azarquiel[52], un artesano dedicado a la construcción de instrumental astronómico, al cual sus patronos proporcionaron la bibliografía adecuada, con lo que logró dominar la teoría astronómica superando con mucho a los demás miembros del grupo[53]. No aparece, en el texto que acabo de resumir, ninguna mención explícita a que el resultado de esta investigación y de estas observaciones fuera la elaboración de unas tablas astronómicas pero un curioso pasaje en un manuscrito latino del siglo XV, que contiene la primera traducción latina de las *Tablas de Toledo* atribuida a Juan de Sevilla, coincide de algún modo con parte importante del mensaje de Isaac Israelí: las tablas serían resultado de la labor de un grupo dirigido por Ṣāᶜid y, dentro del mencionado grupo, Azarquiel habría desempeñado un papel principal. La parte que aquí me interesa dice textualmente lo siguiente:

> Has tabulas composuit Abensahet iudex regis Maymon Toleto, eius discipulus Arzachel et alii cum eo, sed Arzachel regebat instrumenta et dirigebat considerationes[54].

[52] Siguiendo a Millás utilizaré aquí la forma hispanizada *Azarquiel* que deriva directamente de la grafía árabe *walad al-Zarqiyāl* (hijo de al-Zarqiyāl) documentada en Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Būᶜ Alwān p. 181; trad. Blachère pág. 139. La forma más usual en árabe es Ibn al-Zarqālluh que Millás analizó como un híbrido de *zarq* (azul) + un sufijo diminutivo romance *-ello*. De este modo, Ibn al-Zarqālluh/Zarqello sería el "hijo del que tiene ojitos azules" (cf. J.M. Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel*, Madrid-Granada, 1943-50, p. 17). Deben, en principio, descartarse las transcripciones del tipo al-Zarqālī y al-Zarqāla. Véase, no obstante, la opinión de R. Mercier, «Astronomical Tables in the Twelfth Century», *Adelard of Bath. An English Scientist and Arabist of the Early Twelfth Century* ed. por Ch. Burnett (Londres, 1987), p. 104 n. 42.

[53] Cf. Millás, *Azarquiel*, pp. 12-13; Richter-Bernburg, «Ṣāᶜid» pp. 374-375.

[54] Millás, *Azarquiel* p. 14

Un tercer testimonio, mucho menos explícito, ha sido traido a colación por Richter-Bernburg[55] quien señala que Roberto de Ketton utilizó, hacia 1150, los cánones toledanos en la versión de Gerardo de Cremona y afirmó que su autor era «ebenzaet toletanus». Por otra parte, el propio Azarquiel, en su *Tratado sobre el movimiento de las estrellas fijas* confirma el haber dispuesto de un equipo de trabajo para sus observaciones tanto en Toledo como, probablemente, en Córdoba:

> De manera que nosotros abandonamos estos autores y verificamos constante y atentamente las observaciones del sol, de la luna y de las estrellas que nos era posible, *valiéndonos de las personas que nos merecían confianza*, por espacio de 25 años.[...] Aún encontré manera en la ciudad de Córdoba de investigar las disposiciones de los astros por medio de las cuales se podía explicar el movimiento de acceso y retroceso de las estrellas fijas, a tenor de lo observado en ellas y sin dificultad alguna. Así empecé por el cálculo de cada una de aquellas disposiciones *y me ayudé con alumnos míos y personas técnicas de mi confianza.*[56]

De lo anterior puede, tal vez, concluirse — como hace Richter-Bernburg — que el relato de Isaac Israelí, aunque probablemente adornado, es sustancialmente verídico ya que resulta muy probable que el pasaje latino antes citado y atribuido a Juan de Sevilla se encontrara en el original árabe traducido. El pasaje del *Yesod ha-ᶜOlam* parece buscar un cierto paralelismo con los equipos de astrónomos que, en Bagdad (828-829) y en Damasco (831-832), llevaron a cabo las observaciones que tuvieron como resultado las célebres tablas *ma'mūníes*: recuérdese que en ambos casos se recurrió a los servicios de astrónomos especializados en la construcción de instru-

55 Richter-Bernburg, «Ṣāᶜid» p. 375.

56 Millás, *Azarquiel* p. 279.

mentos[57]. Por otra parte la principal dificultad en aceptar esta historia radica en el hecho de que Ṣāᶜid, escribió sus *Ṭabaqāt* en 1068, sin mencionar en ningún momento las *Tablas de Toledo*, y murió en Julio de 1070. Si nuestro cadí fue, efectivamente, el promotor de las tablas, éstas se debieron llevar a cabo, muy rápidamente, en torno a los años 1069-1070. Veremos enseguida que las características internas de la obra no descartan la posibilidad de una labor realizada con toda premura y puede, por otra parte, aceptarse la existencia de observaciones anteriores a estos años, incluso anteriores, como veremos, a 1061, año en el que -- según Abū-l-Ḥasan al-Marrākušī -- Azarquiel llevó a cabo su primera observación[58]. Es posible, asimismo, que la redacción definitiva de las tablas se llevara a cabo después de la muerte de Ṣāᶜid. Por otra parte, sus presuntos colaboradores en la elaboración de las mismas podrían ser el grupo de jóvenes astrónomos que Ṣāᶜid menciona como contemporáneos suyos[59] y que son, además del propio Azarquiel, Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. Jalaf b Aḥmar al-Ṣaydalānī (el farmacéutico o botanista) -- a quien me referiré (§ 3.3.3.3) en relación con sus trabajos sobre la *lámina universal* y al que Ṣāᶜid considera un brillante geómetra --, Abū Marwān ᶜUbayd (o ᶜAbd) Allāh b. Jalaf al-Istiŷŷī -- presunto autor (según Millás) de la revisión del *Libro de las Cruzes* y uno de los que participaron en la elaboración de la teoría de la trepidación (§ 3.3.6) --, Abū Ŷaᶜfar Aḥmad b. Yūsuf b. Gālib al-Tamlākī, ᶜĪsà b. Aḥmad [b.] al-ᶜĀlim (ambos desconocidos por otras fuentes) e Ibrāhīm b. Saᶜīd al-Sahlī al-Asṭurlābī, famoso constructor de instrumental astronómico de quien conservamos varias piezas[60].

Planteado de esta manera el problema del origen de las *Tablas de Toledo*, conviene señalar que ya Millás subrayó, basándose sobre todo en un análisis de los cánones, la enorme influencia que en ellas habían ejercido las de al-Jwārizmī-Maslama y, en un grado algo menor, las de al-Battānī[61]. Un análisis de las tablas numéricas,

[57] A. Sayili, *The Observatory in Islam and its Place in the General History of the Observatory* (Ankara, 1960. Reprint Ankara, 1988), pp. 53, 70, 74.

[58] Millás, *Azarquiel* p. 11.

[59] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 180-181; trad. Blachère pp. 138-139.

[60] Cf. las referencias que da Richter-Bernburg, «Ṣāᶜid» p. 384 y notas correspondientes.

[61] Millás, *Azarquiel* pp. 37-71.

extraordinariamente concienzudo, llevado a cabo por Toomer[62], empieza por constatar que los manuscritos dan, con el título de *Tablas Toledanas*, una serie abigarrada de tablas en la que se encuentran muchas adiciones al *corpus* primitivo. Dado que este erudito duda de que pueda determinarse con precisión la composición de éste, emprende una descripción de las tablas conservadas y estudio de sus fuentes dejando de lado el problema de su autor y origen. Su conclusión fundamental es que la única parte significativa de las tablas que es *independiente de otras fuentes* son las tablas de los movimientos medios que no derivan directamente de ninguna tabla conocida. Se aproximan más a las de Ptolomeo que a las de al-Battānī pero mientras las ptolemaicas calculan longitudes trópicas, las toledanas -- en la tradición del *zīŷ* de al-Jwārizmī-Maslama-- calculan longitudes sidéreas. Un trabajo reciente de Mercier[63] asegura que los parámetros de las longitudes medias del sol y de la luna se ajustan bien a posiciones de estos dos astros observadas en la época en la que se elaboraron las tablas, lo cual coincide con lo que sabemos por otras fuentes (§ 3.3.4 y 3.3.5) y atribuye también a Azarquiel la formulación de la teoría de la trepidación que aparece en las *Tablas de Toledo*, en las que las tablas relativas al acceso y receso son idénticas a las que conservan algunos manuscritos del *Liber de motu* (§ 3.3.6). Son independientes también las longitudes medias en la fecha *radix* (comienzo de la Hégira) así como las longitudes de los apogeos, aunque estos últimos dan valores próximos a los de al-Jwārizmī. Los restantes materiales tabulares no son originales y derivan de al-Jwārizmī o de al-Battānī: así, las tablas de ecuaciones son albatenianas por lo que, en última instancia son ptolemaicas. Sólo las tablas de retrogradaciones planetarias parecen derivar directamente del *Almagesto* ya que no se encuentran en al-Battānī ni en las *Tablas manuales*. Algunas tablas presentan ciertas anomalías no aclaradas: así, dentro de las tablas de eclipses, las que permiten el cálculo de la conjunción y de la oposición media de la luna y el sol están construidas como de las de al-Jwārizmī pero utilizan parámetros distintos y, del mismo modo, la tabla que determina la distancia recorrida por el sol o la luna en una hora en función de la anomalía puede derivar de al-Battānī o haber sido objeto de un cómputo independiente. Algo similar sucede con las

62 Toomer, «A Survey of the Toledan Tables» ya citado.

63 R. Mercier, «Astronomical Tables in the Twelfth Century» pp. 104-112.

tablas de paralaje de las que existe un gran número en los distintos manuscritos ya que se calculan de acuerdo con la latitud de los distintos climas: algunas de estas tablas pueden haber sido calculadas independientemente y, dentro de este grupo, se encuentra la que corresponde al clima de Toledo. Por último, dentro de las tablas astrológicas, una de las dos tablas que permiten calcular la longitud de las casas del zodiaco utiliza parámetros totalmente distintos de la otra, copiada de al-Jwārizmī.

Las *Tablas de Toledo* son, pues, un fiasco como también lo son los resultados que con ellas se obtienen. El análisis realizado al respecto por Gingerich y Welther[64], los cuales calculan los errores en los que incurren estas tablas al calcular posiciones del sol y los planetas para fechas comprendidas entre 1070 y 1090, coinciden con la opinión de Mercier al mostrar resultados muy aceptables para el sol y para la estimación de la precesión de los equinoccios; los errores en las posiciones de Saturno y Júpiter alcanzan ya 2° y la situación es mucho peor para Venus (4°), y, sobre todo, para Mercurio y Marte en los que el error llega a superar los 10°. Se impone, en conjunto, el aceptar la postura muy sensata de Richter-Bernburg cuando considera que la labor que pretendían llevar a cabo Ṣāᶜid y sus colaboradores era seleccionar el mejor material tabular de que disponían y adaptarlo para su uso en Toledo. No se trataba de llevar a cabo una gran obra científica sino de compilar un instrumento de trabajo útil[65]. Esto concuerda bien con la premura con la que se debió llevar a cabo el trabajo en algo más de un año. La originalidad de los parámetros de los movimientos medios hace creer que algo hay de verdad en las referencias a las observaciones llevadas a cabo por Ṣāᶜid y su equipo, al menos en lo que respecta al sol y a la luna: no parece probable, en cambio, que se llevaran a cabo observaciones planetarias.

3.3.2.2 *Las Tablas de Jaén.*

La segunda serie de tablas astronómicas en las que, al igual que en las *Tablas de Toledo*, es patente la influencia de la tradición del

64 O. Gingerich y B. Welther, «The Accuracy of the Toledan Tables», *Prismata. Festschrift für Willy Hartner* (Wiesbaden, 1977), 151-163.

65 Richter-Bernburg, «Ṣāᶜid» p. 387.

Sindhind, son las llamadas *Tablas de Jaén*, debidas al ya mencionado matemático Ibn Muᶜāḏ al-Ŷayyānī. El texto original de estas tablas parece perdido y sólo conservamos una traducción latina de los cánones, debida a Gerardo de Cremona, la cual, con el título de *Scriptum antiquum saraceni cuiusdam, de diversarum gentium Eris, annis ac mensibus et de reliquis Astronomiae principiis*, fue impresa en Nüremberg, 1549. Esta edición llevaba, como apéndice -- aunque sin colofón que lo identificara — la versión latina de Juan de Sevilla del *Liber Universus* del astrólogo oriental del s. IX ᶜUmar ibn al-Farrujān al-Ṭabarī: este breve texto expone unas nociones de cronología astrológica, relacionadas con la astrología de las grandes conjunciones, puestas en boca del astrólogo indio Kanka o Kanaka, razón por la cual se ha atribuido a Ibn Muᶜāḏ la introducción en al-Andalus de las teorías cronológicas de Kanka. Sabemos hoy que, probablemente, el original árabe del *Liber Universus* era conocido en Córdoba a mediados del siglo X[66]. La versión latina de los cánones de Ibn Muᶜāḏ no constituye, no obstante, el único resto de que disponemos de las *Tablas de Jaén*: en los *Libros del Saber de Astronomía* alfonsíes aparecen múltiples referencias a su procedimiento para dividir las casas de la eclíptica y existe, asimismo, algún material tabular conservado en tablas posteriores como las de Ibn al-Kammād[67]. Por otra parte, el descubrimiento reciente, por D.A. King, de las tablas del astrónomo tunecino Ibn Isḥāq, nos permite disponer de algún pasaje del original árabe de los cánones de Ibn Muᶜāḏ[68].

Conviene mencionar, en primer lugar, que no disponemos de evidencia alguna de que Ibn Muᶜāḏ llevara a cabo observaciones astronómicas, por más que conviene no formular ninguna observación categórica en este sentido hasta que se haya llevado a cabo un estudio del tratado de este autor sobre el eclipse de sol que tuvo lugar el 1 de Julio de 1079 y que conservamos en versión hebrea. Desde este punto de vista no cabe, pues, esperar grandes novedades en las *Tabulae Jahen* aunque no considero justa la opinión de Hermelink el cual cree que se trata de una versión simplificada de los

66 D. Pingree, «The "Liber Universus" of ᶜUmar Ibn al-Farrukhān al-Ṭabarī», *Journal for the History of Arabic Science* 1 (1977), 8-12.

67 J.M. Millás Vallicrosa, *Las traducciones orientales en los manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo*, Madrid, 1942, pp. 246-247.

68 Las tablas de Ibn Isḥāq fueron descubiertas por D. King en el manuscrito Hyderabad Andra Pradesh State Library nº 298. Debo a su generosidad el haber podido disponer de una colección de fotocopias del mismo.

cánones del *Sindhind*, en la versión de al-Jwārizmī, adaptada a las necesidades diarias de un cadí[69]. Se trata, sin duda, de una adaptación del *Sindhind* a las coordenadas de Jaén que son (caps. 4 y 8) una longitud de 62° al Oeste del meridiano de Arín y una latitud de 38°. En lo que respecta a la longitud, hay que llamar la atención sobre el hecho de que encaja bien con la corrección de longitudes entre la Península Ibérica y Arín cuyas primeras manifestaciones conocidas en Córdoba pueden fecharse hacia 940 (§ 2.5.2.2). En lo que respecta a la latitud, la única fuente anterior a Ibn Muᶜād que atribuye 38° a Jaén es el geógrafo andalusí de fines del s. X o principios del XI Isḥāq b. al-Ḥasan b. Abī-l-Ḥusayn al-Zayyāt[70], que tanta influencia tuvo en geógrafos y astrónomos andalusíes. Este no es el único rasgo hispánico que aparece en los cánones de Ibn Muᶜād: el capítulo 1, dedicado a cuestiones de cronología, señala que en al-Andalus, en los años bisiestos, el día suplementario se añade después del 31 de Diciembre (*secundum intentionem Romanorum nostrae terrae*).

Por otra parte, los cánones de Ibn Muᶜād coinciden muy frecuentemente de forma total con los de al-Jwārizmī: el modelo lunar tiene una sola ecuación como es habitual en la tradición del *Sindhind* y el mismo origen tienen los modelos planetarios y el procedimiento expuesto para determinar la longitud verdadera de un planeta que implica apogeos planetarios fijos al igual que en al-Jwārizmī (cap. 9). Los parámetros solares utilizados por Ibn Muᶜād suelen tener, asimismo, el mismo origen: esto es lo que sucede con el apogeo, situado a 77;55° o con la *revolutio anni* de 93;2,15° que implica un año sidéreo de 365;15,30,22,15 días[71]. A la misma tradición pertenecen los capítulos 10 y 11 en los que Ibn Muᶜād se ocupa, respectivamente, de la determinación de la latitud de la luna y de los cinco planetas y del carácter directo, retrógrado o estacionario del despla-

[69] H. Hermelink, «Tabulae Jahen», *Archive for the History of the Exact Sciences* 2 (1964), 108-112.

[70] E.S. and M.H. Kennedy, *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources*, Frankfurt, 1987, p. 158.

[71] Tomo la *revolutio anni* de la tabla *Residuum ascensionum ad revoluciones annorum solarium secundum Muhad Arcadius* que se encuentra en la versión latina de las tablas de Ibn al-Kammād (ms. 10023 de la Biblioteca Nacional de Madrid). Ya Millás (*Traducciones orientales* p. 246) identificó a *Muhad Arcadius* como [Ibn] Muᶜād *al-qāḍī*. Una tabla basada en un parámetro idéntico aparece en el *zīŷ* de al-Jwārizmī-Maslama: cf. Neugebauer, *Astronomical Tables of al-Khwārizmī* p. 131.

zamiento de un planeta. Por otra parte, en el mismo capítulo 11 aparecen reelaboraciones personales de Ibn Muᶜāḏ, que completan lo expuesto por al-Jwārizmī, como, por ejemplo, reglas para determinar si las ecuaciones planetarias (o del Sol y de la Luna) son positivas o negativas. Al ocuparse de la determinación de la conjunción y oposición del Sol y de la Luna (cap. 12) Ibn Muᶜāḏ introduce modificaciones en el cálculo del tiempo que transcurre entre la conjunción/oposición media y la conjunción/oposición verdadera. En otras ocasiones parece que Ibn Muᶜāḏ conocía un texto más completo de los cánones de al-Jwārizmī que el que nos ha llegado en la versión al-Jwārizmī-Maslama: probablemente se trata de la versión que dio lugar al comentario de Ibn al-Muṯannà. Así, el capítulo 16, que se ocupa de la determinación del ascendente y del medio cielo en función de la hora expone un procedimiento idéntico al que aparece en los cánones de Ibn al-Ṣaffār y al que aparece aludir Ibn al-Muṯannà. Algo similar sucede en el capítulo 19 (*Ad sciendum visionem novae lunae*) en el que el punto de partida es idéntico al expuesto por Ibn al-Muṯannà, por más que el tratamiento del problema se independiza pronto de las fuentes que cabía esperar: se trata de un capítulo interesante al que convendría dedicar un estudio detallado.

Conviene señalar, por último, que frecuentemente Ibn Muᶜāḏ se muestra totalmente independiente. Así sucede, por ejemplo, con la fecha *radix* utilizada como punto de partida de todos los movimientos medios de sus tablas: tanto al-Jwārizmī como Ibn Muᶜāḏ utilizan el principio de la Hégira pero mientras el primero parte de la fecha astronómica correspondiente a la conjunción verdadera del sol y de la luna del 1 del mes de Muḥarram (mediodía del miércoles 14 de Julio del año 622, día juliano 1948438), Ibn Muᶜāḏ utiliza la fecha de la conjunción media y parte de la medianoche entre el jueves 15 (DJ 1948439) y el viernes 16 (DJ 1948440). Este nuevo punto de partida cronológico coincide con todos los datos que nos ofrece el texto, también en el cap. 1, acerca del número de días que han transcurrido entre las distintas eras que utiliza: *Era graecorum vel romanorum* (Alejandro), Era Hispánica, Encarnación, Diocleciano y Yezdeguerd.

Independiente resulta también la parte trigonométrica de las *Tabulae Jahen* (caps. 2 y 14) aunque resulte mucho más conservadora que el *Kitāb al-maŷhūlāt* obra que, como hemos visto, es anterior a estas tablas. Ibn Muᶜāḏ define aquí las funciones cuerda, seno,

coseno y seno verso (*sagitta*) así como una *umbra versa* tradicional calculada para un gnomon de 12 dígitos. Según parece desprenderse del texto la parte tabular de la obra contenía una tabla de senos (para r= 60) y otra de tangentes (para g= 12). Si el uso, por nuestro autor, de la función *sagitta* hace pensar, una vez más, en una tradición india, lo mismo puede decirse en su tratamiento de algunos temas de astronomía esférica, como su procedimiento para determinar la hora en función de la altura del sol aplicando la expresión:

$$\text{vers } t = \text{vers } d - \frac{\text{vers } d \text{ sen } h}{\text{sen } h_m}$$

donde t = ángulo horario
d = arco semidiurno
h = altura del sol en un momento dado
h_m= altura meridiana del sol.

La fórmula anterior, que es exacta, tiene un origen indio y, en el mundo islámico fue formulada, en el siglo IX, por Ḥabaš al-Ḥāsib y demostrada, en los siglos X-XI, por Abū-l-Wafā' al-Buzŷānī y por al-Bīrūnī. En la tradición hispánica aparece en el *al-Zīŷ al-Šāmil* de Ibn al-Raqqām (§ 6.3.2.2.3) así como en los cánones castellanos de la primera versión de las *Tablas Alfonsíes* en los que la fórmula se utiliza no sólo para determinar la hora sino también para establecer el momento en el que empieza el alba y termina el crepúsculo utilizando una altura negativa de 19°[72]. Dado que este último parámetro es el utilizado por Ibn Muᶜāḏ en el *Liber de crepusculis* (del que hablaré en § 3.3.7) y que, como veremos, los colaboradores del rey Alfonso mencionan repetidamente el procedimiento de Ibn Muᶜāḏ para dividir las casas que también aparece en las *Tablas de Jaén*, cabe sugerir, como muy probable, que estas tablas fueran una de las fuentes árabes utilizadas por los astrónomos alfonsíes. Por otra parte, y en lo relativo a la fuente utilizada por el propio Ibn Muᶜāḏ, nos aparecen, una vez más, los nombres de Abū-l-Wafā' y al-Bīrūnī, que forman parte del elenco de protagonistas de la «revolución trigonométrica» de fines del siglo X y principios del XI: volve-

[72] Sobre toda esta cuestión cf. J. Samsó, «Alfonso X and Arabic Astronomy» en *De Astronomia Alphonsi Regis* (Barcelona, 1987), pp. 29-30.

remos a encontrar estos nombres, junto con otros, en relación con Ibn Muᶜāḏ.

Tiene interés asimismo el subrayar la independencia, con respecto a al-Jwārizmī, de algunos pasajes astronómicos de los cánones de Ibn Muᶜāḏ. Así, en el capítulo 11, nuestro autor nos informa de que los puntos de la excéntrica solar y del deferente lunar en los que estos astros se mueven con velocidad media y pasan de un movimiento lento a uno rápido son:

- Sol: 92;14° y 267;46° (medidos desde el apogeo)
- Luna: 94;56° y 265;4°

Esto implica, evidentemente, que las máximas ecuaciones del centro son, respectivamente, 2;14° y 4;56°, parámetros idénticos a los de al-Jwārizmī. Ahora bien, en las tablas de al-Jwārizmī-Maslama, en las que la ecuación del centro está computada por un procedimiento aproximado denominado «método de las declinaciones», los puntos correspondientes de la excéntrica solar y el deferente lunar debieran ser aquellos en los que la ecuación es máxima, o sea 90° y 270°. Los valores de Ibn Muᶜāḏ antes mencionados hacen pensar, en cambio, que las tablas de ecuaciones del centro del sol y de la luna que se encontraban en las *Tablas de Jaén* estaban calculadas con un procedimiento ptolemaico y no con la aproximación hindú de las declinaciones.

Señalemos asimismo que las *Tabulae Jahen* contenían una tabla de estrellas en la que las longitudes estaban calculadas para el comienzo de la Hégira y que ésta iba acompañada por una tabla de precesión constante calculada para años y meses (cf. cap. 11). Esta mención implica no sólo que Ibn Muᶜāḏ trata de subsanar la laguna del *zīŷ* de al-Jwārizmī-Maslama en el que no hay la menor mención de la precesión de los equinoccios, sino asimismo que es totalmente independiente de la tradición toledana en la que, como veremos, domina la teoría de la trepidación.

Los cánones contienen asimismo muestras claras del interés que Ibn Muᶜāḏ sentía por la astrología matemática. De este modo, nuestro autor, en su capítulo 25, empieza por seguir a al-Jwārizmī al exponer el procedimiento *standard* para dividir las doce casas de la eclíptica, método que atribuye a Ptolomeo y que se basa en dividir la eclíptica, en el sentido de los signos zodiacales, a partir del ascendente de tal modo que las seis casas diurnas tengan las mismas diferencias ascensionales y que lo mismo suceda con las seis casas

nocturnas[73]. Ahora bien, señala que no ha calculado tablas para este procedimiento ya que no lo considera adecuado. En su lugar desarrolla otro método basado (Fig. 12) en dividir el ecuador en arcos de 30°, a partir del punto Este u Oeste: círculos máximos que pasan por los puntos Norte y Sur del horizonte y por los extremos de las divisiones en 30° del ecuador determinan, al cortar la eclíptica, los principios de las casas zodiacales. El texto latino de los cánones acompaña la descripción del procedimiento para calcular las longitudes de las casas de un algoritmo que se encuentra obviamente corrupto y que no se ha logrado aclarar hasta el momento[74]. Resulta interesante señalar que este procedimiento de Ibn Muᶜāḏ — al que J.D. North denomina *ecuatorial (límites fijos)* — parece íntimamente relacionado con el llamado método del *primer vertical (límites fijos)* descrito por al-Bīrūnī en su *al-Qānūn al-Masᶜūdī* y en sus *Maqālīd ᶜilm al-hay'a*[75] como «el método que prefiero»: en él (Fig. 13) es el primer vertical, en lugar del ecuador, el que se divide en arcos de 30° a partir del punto Este y, como en el caso anterior, círculos máximos que pasan por los puntos Norte y Sur del horizonte y por los extremos de las divisiones en 30° del primer vertical determinan, al cortar la eclíptica, los principios de las casas zodiacales[76]. Señalaré, por otra parte, que el mismo al-Bīrūnī, en su *Kitāb fī istīᶜāb al-wuǔūh al-mumkina fī ṣanᶜat al-asṭurlāb*, describe una lámina de *tasyīr* en la que ha trazado círculos máximos que pasan por los puntos N. y S. del horizonte y por divisiones iguales del ecuador: se trata, por tanto, del mismo procedimiento utilizado por Ibn Muᶜāḏ para dividir las casas[77]. Tanto el método ecuatorial como el del primer vertical son mencionados repetidamente en los *Libros del Saber de Astronomía*: el primero, atribuido a «Abenmoat», en el *Libro dc las Armellas* y en el *Libro del Ataçir*; el segundo se atribuye al mítico Hermes en el *Libro dell astrolabio redondo*, *Libro de la lámina universal* y *Libro de la açafeha*. Todo esto plantea, una vez más, el problema de la posible difusión de la obra de al-Bīrūnī en

[73] Neugebauer, *Astronomical Tables of al-Khwārizmī* pp. 76-77.

[74] Cf. J.D. North, *Horoscopes and History*. London, 1986, pp. 35-38.

[75] Debarnot, *Maqālīd* cit. pp. 284-291.

[76] North, *Horoscopes* pp. 32 y ss.

[77] E. Calvo me ha llamado la atención sobre este pasaje del *K. fī istīᶜāb*. Véase su comunicación (en curso de publicación) al III Coloquio Internacional de Argel sobre Historia de la Matemática Arabe.

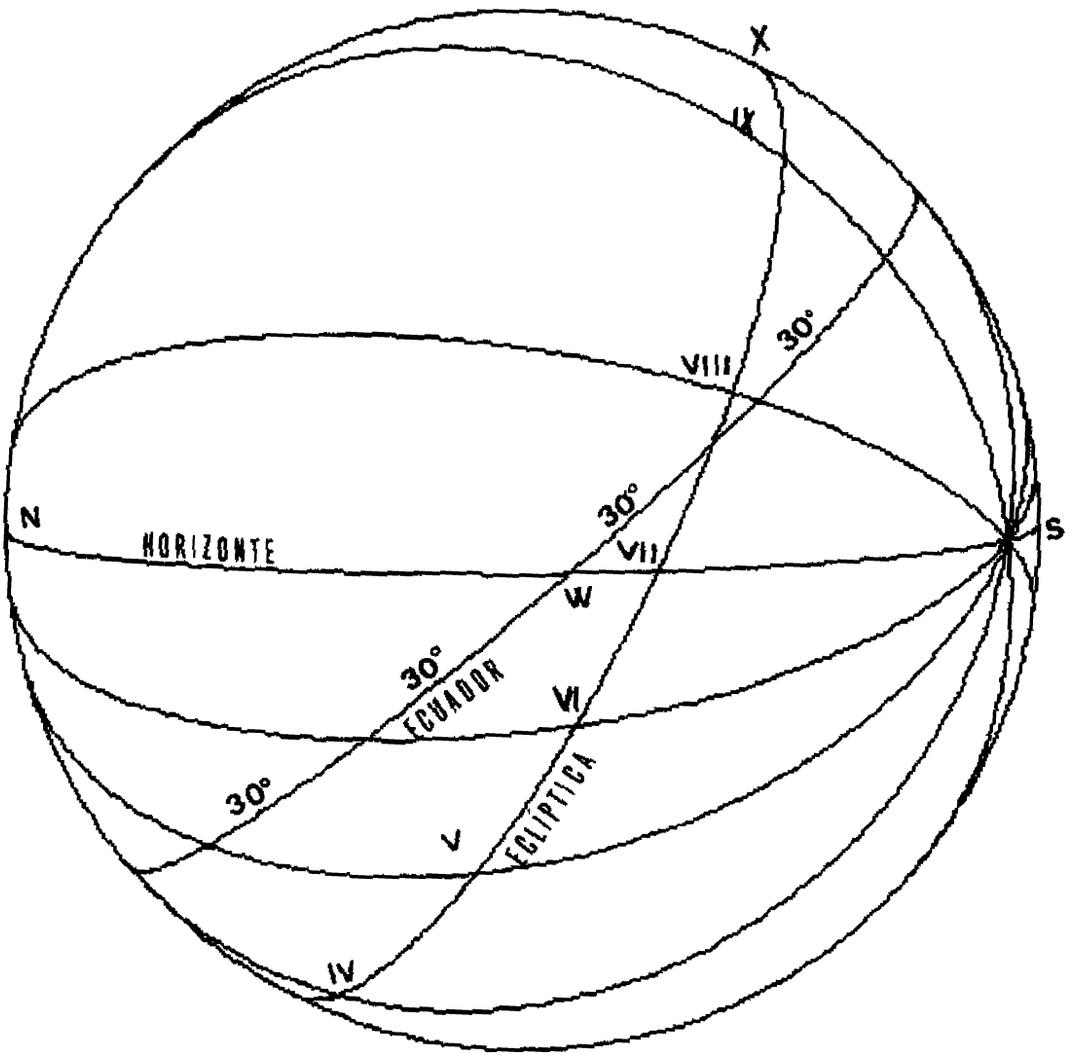


Fig. 12

Método ecuatorial (límites fijos) descrito por Ibn Muᶜāḏ al-Ŷayyānī para dividir las casas del horóscopo.

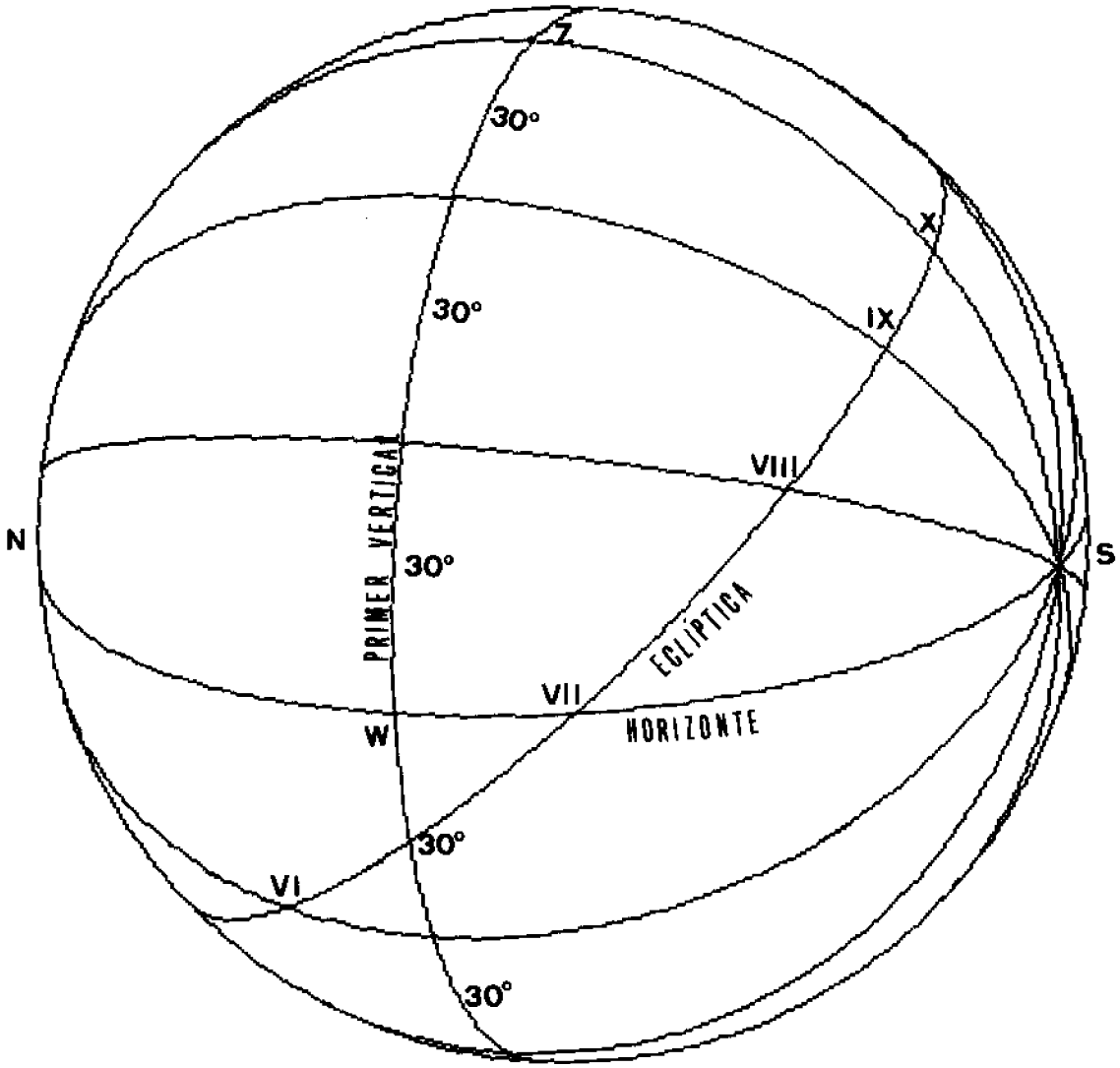


Fig. 13

Método del primer vertical preferido por al-Bīrūnī para dividir las casas del horóscopo.

al-Andalus pues, si bien se trata de un tema que parece relativamente claro en el caso de Ibn Muᶜāḏ, no sucede lo mismo con los restantes autores hispánicos que tuvieron conocimiento del método antes que él: las referencias al procedimiento de Hermes no constituyen una interpolación de los traductores alfonsíes, al menos en el caso del *Libro de la açafeha* en el que podemos controlar la cita por disponer de un original árabe. No sólo Azarquiel conocía el método del primer vertical sino que afirma que éste había sido utilizado por Ibn al-Samḥ, el discípulo de Maslama, el cual habría elaborado un algoritmo con el que pudo calcular una tabla para dividir las casas de acuerdo con este procedimiento[78]. En cualquier caso, y sea cual fuere la vía de transmisión del método del primer vertical, tanto éste como el ecuatorial de Ibn Muᶜāḏ se difundieron por la Europa Latina y fueron conocidos y aplicados hasta bien entrado el Renacimiento.

Un último tema de interés en los cánones de las *Tabulae Jahen* es el capítulo que el autor dedica a calcular el acimut de la alquibla y del que conservamos el texto original árabe dentro de los cánones que acompañan a las tablas de Ibn Isḥāq: en este capítulo, Ibn Muᶜāḏ se preocupa por el problema previo de determinar los cuatro puntos cardinales en una superficie horizontal recurriendo a la técnica del «círculo indio» (cf. Fig. 14) : trazamos un círculo en el suelo y levantamos un gnomon perpendicular en su centro. A lo largo del día observaremos la sombra proyectada por el gnomon al incidir en él los rayos del sol y marcaremos, sobre el círculo los dos puntos en los que la longitud de la sombra es exactamente igual al radio del círculo. Estos dos puntos corresponderán a dos momentos, simétricos con relación al mediodía, en los que el sol tiene el mismo acimut. Por consiguiente, si unimos con una recta las dos señales que hemos marcado sobre el círculo y levantamos una perpendicular en el punto medio del segmento comprendido entre las dos señales, esta perpendicular corresponderá a la línea meridiana y nos determinará en el suelo la dirección Norte-Sur. Hasta aquí Ibn Muᶜāḏ no hace más que repetir una técnica bien conocida aunque, a continuación, pretende mejorarla recomendando que, en lugar de un único círculo, se tracen todos los círculos concéntricos posibles (cf. Fig. 15) y se señale, sobre ellos, los correspondientes pares de puntos en los que la

[78] R. Puig, *Los Tratados de Construcción y Uso de la Azafea de Azarquiel*, Madrid, 1987, pp. 84-85.

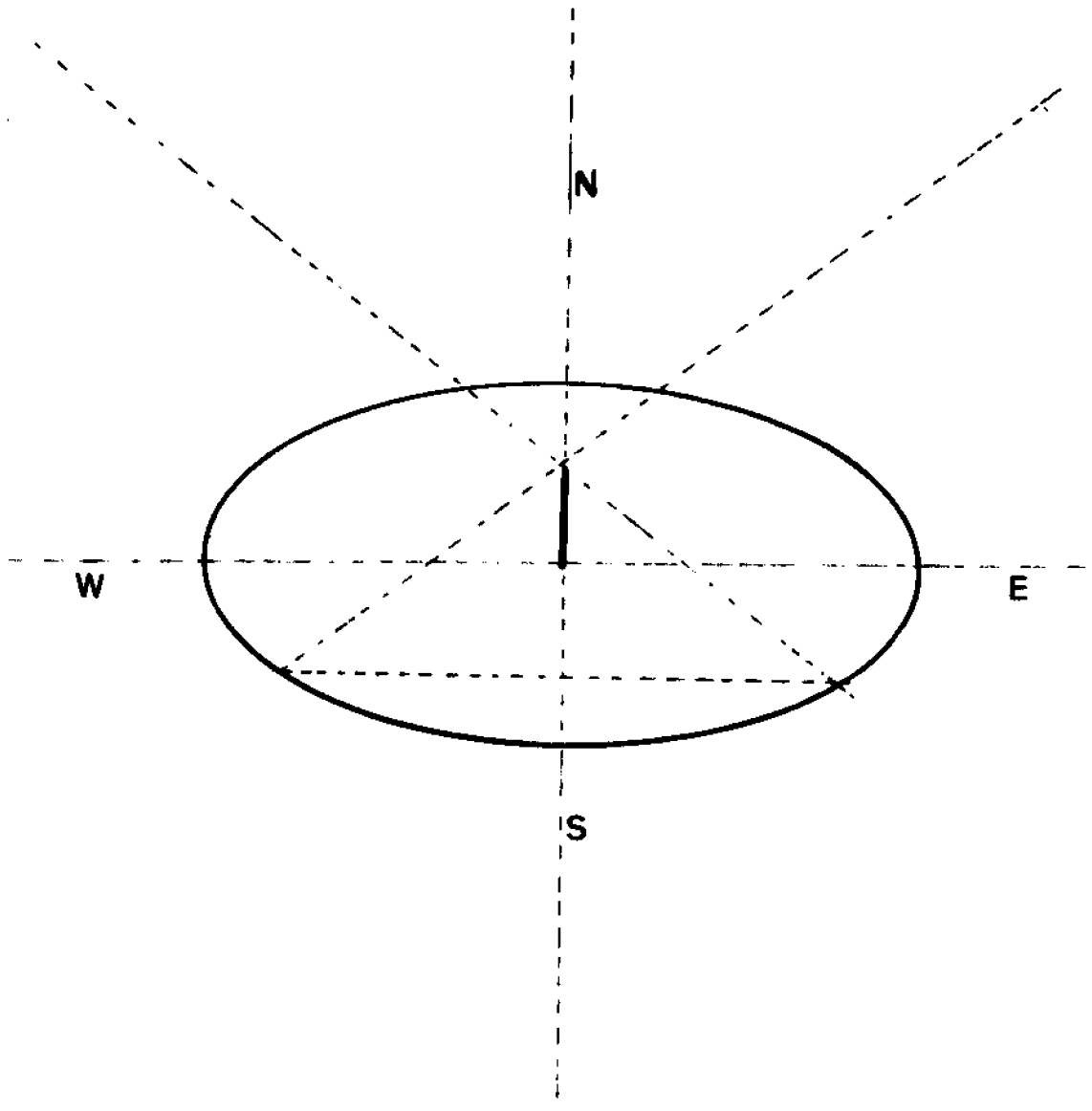


Fig. 14
Determinación de la meridiana por el procedimiento del «círculo indio».

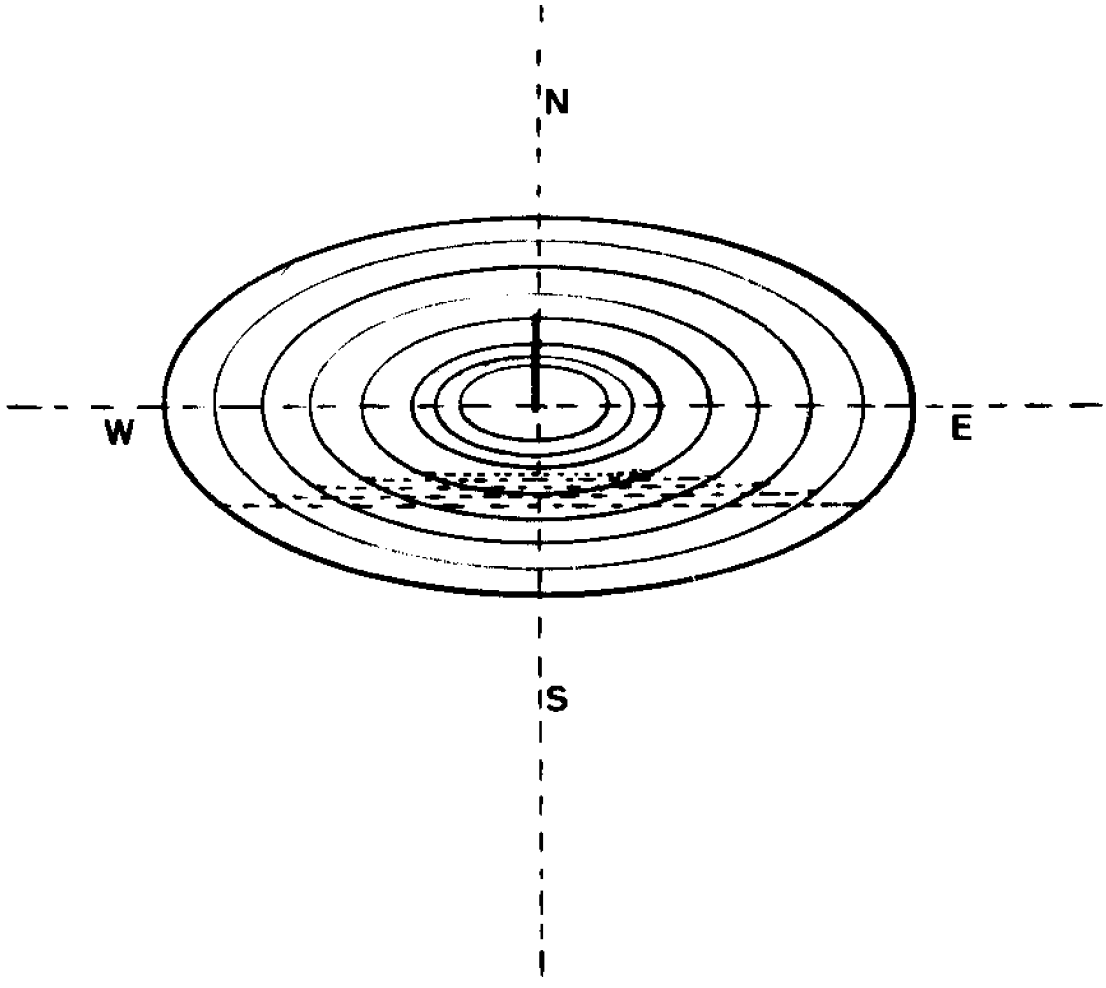


Fig. 15

Variante del procedimiento del «círculo indio» para determinar la meridiana que nos describe Ibn Muᶜāḍ.

sombra tiene la misma longitud que el radio de cada uno de los círculos. La línea meridiana será la perpendicular que una los puntos medios de los segmentos trazados entre los pares de puntos y pase por el punto de mínima sombra (correspondiente a la altura del sol al mediodía) y por el centro común a todos los círculos. Como puede verse fácilmente, el procedimiento de Ibn Muᶜāḏ puede eliminar ciertas imprecisiones en la observación pero no resuelve el error básico en el que se incurre con la técnica del círculo indio y que se debe a que el sol no tiene exactamente la misma declinación por la mañana y por la tarde, en los dos momentos en que su sombra tiene la misma longitud que el radio del círculo.

Determinados los cuatro puntos cardinales, Ibn Muᶜāḏ expone cómo calcular el acimut de la alquibla y el procedimiento que utiliza es el primer método exacto documentado en al-Andalus para resolver este problema. Este procedimiento implica el cálculo sucesivo de cuatro arcos auxiliares que, siguiendo a D. King[79], denominaré θ_1, θ_2, θ_3 y θ_4:

$$\text{Sen } \theta_1 = \text{Cos } \phi_M \text{ Sen } D_1 / 60$$
$$\text{Sen } \theta_2 = 60 \text{ Sen } \phi_M / \text{Cos } \theta_1$$
$$\theta_3 = \phi_L - \theta_2$$
$$\text{Cos } \theta_4 = \text{Cos } \theta_3 \text{ Cos } \theta_1 / 60$$
$$\text{Sen } q = 60 \text{ Sen } \theta_1 / \text{Sen } \theta_4$$

donde (cf. Fig 16):

ϕ_M = latitud de La Meca.

D_1 = diferencia de longitudes entre La Meca y el lugar para el que queremos calcular el acimut de la alquibla.

ϕ_L = latitud del lugar en cuestión.

q = acimut de la alquibla.

No es necesario, aquí, demostrar la exactitud del procedimiento[80] ya que éste, denominado por al-Bīrūnī «método de los *zīŷes*», es bien conocido entre los astrónomos orientales. Entre los que

[79] D.A. King, «Ḳibla» en *Encyclopédie de l'Islam* V (Leiden-París, 1986), 88-89.

[80] Sobre toda esta cuestión cf. J. Samsó y H. Mielgo, «Ibn Isḥāq al-Tūnisī and Ibn Muᶜāḏ al-Jayyānī on the Qibla», en curso de publicación.

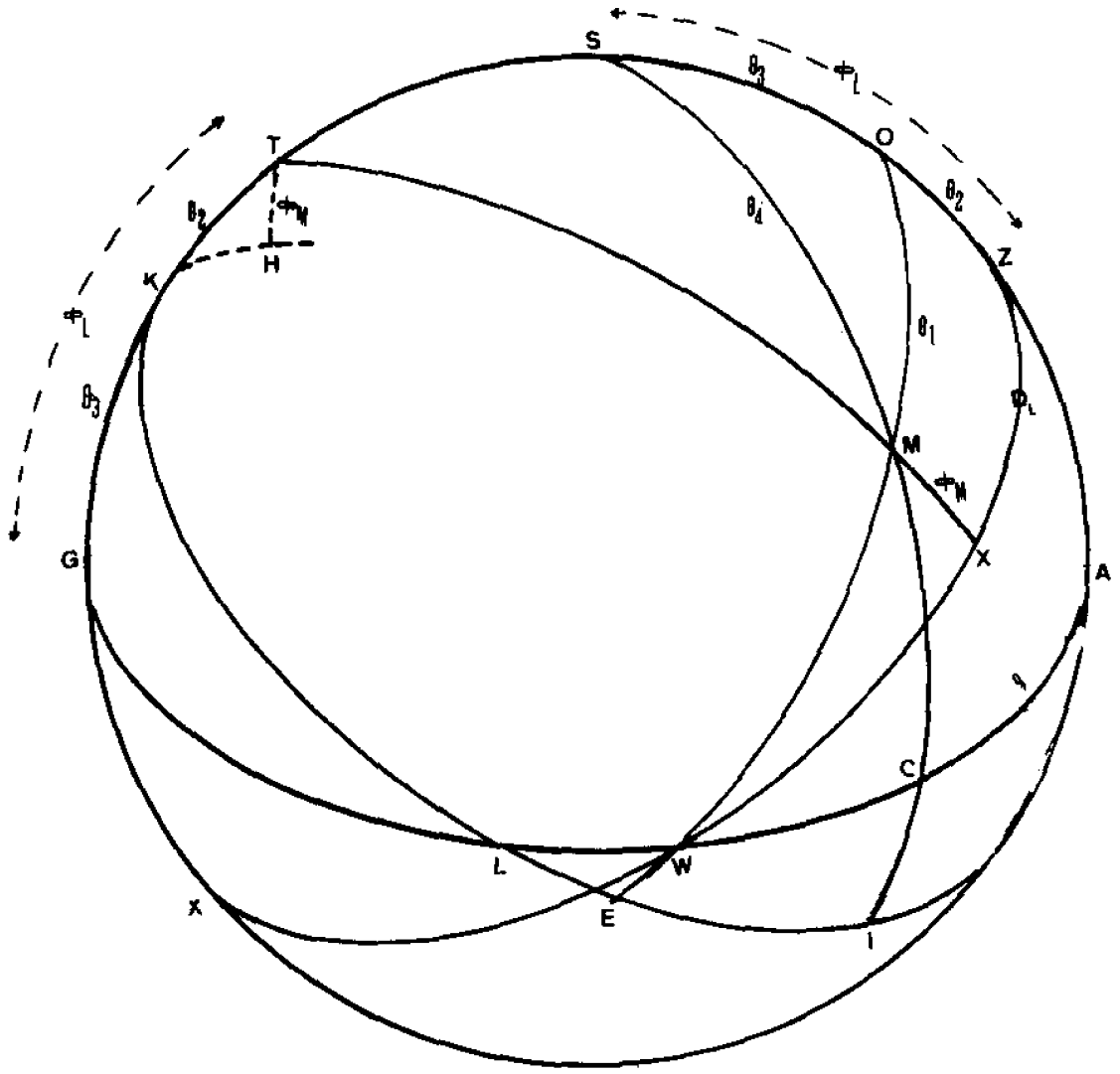


Fig. 16

Método «de los *zīyes*» descrito por Ibn Mu^{c}ād para determinar el acimut de la alquibla.

precedieron a Ibn Muᶜāḏ, lo mencionan Ḥabaš al-Ḥāsib (fl. 850), Abū-l-Wafā' al-Buzŷānī (994-997), Abū Sahl al-Kūhī (fl. 988), al-Bīrūnī (973-1048), Kūšyār b. Labbān (c. 971-1029), Ibn Yūnus (m. 1009) e Ibn al-Haytam (c. 965-1039)[81]. Es más que probable que la fuente directa de Ibn Muᶜāḏ se encuentre en la lista anterior en la que, conviene subrayar, se encuentran los principales protagonistas de la «revolución trigonométrica». El análisis que he realizado, en otro lugar, del texto de Ibn Muᶜāḏ, muestra que éste, aunque no dé demostración alguna del procedimiento, comprendía perfectamente sus fundamentos. Más difícil resulta establecer con seguridad cuál fue la fuente que utilizó, ya que la mayor parte de los textos clave se encuentran aún inéditos, pero es posible aventurar la hipótesis de que Ibn Muᶜāḏ hubiera conocido el «método de los *zīŷes*» a través del tratado de geografía matemática de al-Bīrūnī denominado *Taḥdīd nihāyāt al-amākin*.

Con esto termino este análisis, muy provisional, de las *Tablas de Jaén*, un texto que ha sido muy descuidado hasta el momento y que se merece un estudio serio. No se trata de una simple adaptación del *zīŷ* de al-Jwārizmī-Maslama aunque éste sea la fuente principal utilizada por Ibn Muᶜāḏ. Hay en estas tablas muchos materiales nuevos y una visión personal por parte de su autor de muchas cuestiones, amén de algunos pasajes que hacen pensar en la posible influencia de al-Bīrūnī y de sus contemporáneos que, habitualmente, se consideran desconocidos en al-Andalus. Un análisis más detallado confirmará, probablemente, lo que acabo de decir.

3.3.2.3 *El «Almanaque» de Azarquiel.*

Al ocuparme, en el capítulo anterior (§ 2.5.2.4), de las causas que, posiblemente, dieron lugar al nacimiento de los ecuatorios, he subrayado hasta qué punto resulta laborioso para un astrónomo/astrólogo calcular la posición de un planeta mediante unas tablas

[81] Cf. J.L. Berggren, «On al-Biruni's "Method of the Zijes" for the Qibla», *Proceedings of the 16th International Congress of the History of Science* C-D (Bucharest, 1981), 237-245; Berggren, «The Origins of al-Bīrūnī's "Method of the Zījes" in the Theory of Sundials», *Centaurus* 28 (1985), 1-16; E.S. Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin* (Beirut, 1973), pp. 128-130 y 211-214; Debarnot, *Maqālīd*, pp. 50, 102, 252-257; D.A. King, «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 3 (1986), 82-149.

astronómicas. Una respuesta a este problema la dan, como hemos visto, los modelos planetarios a escala (ecuatorios) que permiten resolver el problema gráficamente. Una segunda solución se dio en Oriente donde eran conocidos los calendarios de efemérides astronómicas que reciben el nombre de *taqwīm* y son los predecesores de los almanaques modernos que se publican anualmente y son utilizados tanto por astrónomos como por marinos. Estos *taqwīm* eran conocidos, al menos, desde el siglo X y su elaboración constituyó, para los astrónomos, un medio de vida. A principios del siglo XI al-Bīrūnī nos describe efemérides de este tipo, basadas en el calendario persa, así como otras similares, elaboradas en Kašmīr de acuerdo con el calendario hindú y que eran utilizadas en toda la India. En lo que respecta al Jwārizm, tierra natal de al-Bīrūnī, existían efemérides en las que la fecha se daba de acuerdo con los calendarios musulmán, persa y griego y que indicaban las longitudes de los siete planetas y del nodo ascendente de la luna, así como algún otro dato de interés astronómico y astrológico, a mediodía de la fecha en la localidad para la que estaban construidas las efemérides[82]. La labor de los astrólogos se veía, de este modo notablemente simplificada ya que podían conocer la longitud de un planeta para una fecha determinada por lectura directa o, como máximo, con una simple interpolación lineal.

Una tercera solución se utilizó en al-Andalus en donde se recuperó una vieja técnica clásica con raíces babilónicas: se trata de los almanaques perpetuos, basados en el conocimiento de unos ciclos denominados *años límite* (*goal years*), peculiares de cada planeta. Estos ciclos tienen la peculiaridad de comprender un número entero de años solares los cuales, a su vez, contienen un número íntegro de revoluciones sinódicas y zodiacales. Estos ciclos fueron conocidos por los astrónomos babilónicos, los recoge Ptolomeo (*Almagesto* IX,3) y sus ecos llegan incluso a aparecer en Isidoro de Sevilla[83]. Tal como aparecen en el *Almagesto*, estos ciclos son los siguientes:

[82] al-Bīrūnī, *Kitāb al-tafhīm li-awā'il ṣinā'at al-tanǧīm*. Ed. facsímil y trad. R. Ramsay Wright (Londres, 1934), 156-191.

[83] J. Samsó, «Astronomica Isidoriana», *Faventia* 1 (1979), 167-174.

Planeta	*Años solares*	*Rev. sinódicas*	*Rev. zodiacales*
Saturno	59	57	2
Júpiter	71	65	6
Marte	79	37	42
Venus	8	5	8
Mercurio	46	145	46

Estos años límite tienen una ventaja evidente para el astrónomo ya que, en teoría al menos y siempre que no se requiera una gran precisión, pueden calcularse las posiciones de un planeta para un ciclo completo (en el caso de Venus, 8 años), terminado el cual las longitudes planetarias serán las mismas en las mismas fechas. Esto quiere decir, siguiendo con el ejemplo de Venus, que la longitud de este planeta será la misma el 1 de Enero del año 1 del primer ciclo, el 1 de Enero del año 9 (año 1 del segundo ciclo), el 1 de Enero del año 17 (año 1 del tercer ciclo) etc. Esto constituye, por tanto, una buena fundamentación teórica para el cálculo de efemérides con las que se construirá un almanaque de validez permanente.

El primer almanaque de este tipo que conservamos es el que elaboró Azarquiel a partir de un original alejandrino perdido atribuido a un tal Awmātiyūs que conocemos en una versión árabe (en cuyos cánones Azarquiel introduce materiales derivados de las tablas de al-Jwārizmī-Maslama y de al-Battānī), en una traducción latina resumida de los cánones que se atribuyen a Humeniz, y en una versión castellana alfonsí de la parte tabular[84]. Los años-límite utilizados son los mismos del *Almagesto* salvo en el caso de Júpiter para el que se utiliza un ciclo de 83 años solares en los que hay 76 revoluciones sinódicas y 7 zodiacales. El *Almanaque* de Azarquiel ha sido analizado por Boutelle[85] quien ha demostrado que los modelos y parámetros subyacentes a las tablas de los cinco planetas son de origen ptolemaico, mientras que las tablas solares son, probablemen-

[84] Millás, *Azarquiel* pp. 75-134.

[85] M. Boutelle, «The Almanac of Azarquiel», *Centaurus* 12 (1967), 12-19. Reimpreso en S.I.E.S. pp. 502-510. Deben tenerse en cuenta las importantes observaciones de N. Swerdlow en *Mathematical Reviews* 41,4 (1971), nº 5149.

te, el resultado de la labor original del propio Azarquiel[86] (cf. *infra* § 3.3.4). Boutelle ha calculado las posiciones de los apogeos planetarios implícitas en el *Almanaque* y podemos compararlas con las que da Ptolomeo (*Almagesto* XI, capítulos 1,5 y 7) para su propio tiempo (entre 120 y 140 de J.C.):

Planeta	*Almanaque*	*Almagesto*	*Diferencia*
Saturno	235°	233°	2°
Júpiter	162°	161°	1°
Marte	117°	115;30°	1;30°
Venus	87°	55°	32°
Mercurio	210°	190°	20°

La columna de diferencias da valores aberrantes para Venus y Mercurio y no pueden tenerse en cuenta. En cambio, las diferencias que corresponden a Saturno, Júpiter y Marte hacen pensar -- partiendo de la constante de precesión ptolemaica de 1° en 100 años-- que el almanaque original se compuso entre 100 y 200 años después de la época de Ptolomeo, o sea en el siglo III o IV de nuestra era. Parece, pues, que debe descartarse la opinión de Steinschneider quien identificaba a Awmātiyūs con Ammonio, hijo de Hermías, último director de la Escuela de Alejandría (fl. 503 de J.C.), identificación que ha sido también rechazada por Neugebauer[87] por falta de coherencia interna con la ideología de la escuela neoplatónica a la que pertenecía Ammonio.

No parece que el texto original griego haya llegado directamente a manos de Azarquiel. Debió existir una previa traducción árabe y parece lógico suponer, tal como hace N. Swerdlow, que las entradas iniciales de las tablas del sol y de los planetas deberían corresponder a la fecha en que el *Almanaque* adquirió su disposición actual. Tales entradas pueden considerarse más o menos ajustadas al 1 de Septiembre del 994, tal como podemos comprobar al compararlas con

[86] G.J. Toomer, «The Solar Theory of al-Zarqāl. A History of Errors», *Centaurus* 14 (1969), 320-322.

[87] O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy* (Berlín, Heidelberg, Nueva York, 1975) p. 1037.

las longitudes, para esta fecha, que aparecen en las tablas de Stahlman y Gingerich[88]:

Planeta	*Almanaque*	*St./Ging.*	*Dif.*
Sol	156;55°	164°	- 7;5°
Mercurio	172°	185°	-13°
Venus	149°	150°	- 1°
Marte	162°	162°	0°
Júpiter	122°	118°	4°
Saturno	342°	342°	0°

Parece, pues, posible que la traducción del original griego o una adaptación, anterior a la de Azarquiel, se llevara a cabo muy a fines del siglo X. Por otra parte, cuando el astrónomo toledano lleva a cabo su recensión final del texto es perfectamente consciente de los errores en los que incurrirá fatalmente quien utilice el *Almanaque* debido, por ejemplo, a que el usuario no puede corregir en precesión las posiciones de los apogeos planetarios. Por ello adopta una nueva época (el principio del año 1400 de Alejandro, 1 de Septiembre de 1088 de J.C.) e indica las correcciones que hay que introducir en las longitudes planetarias para esta fecha dando, asimismo, unas reglas muy simples para introducir correcciones en las posiciones del *Almanaque* para fechas anteriores o posteriores a 1088. Resulta interesante comparar las longitudes planetarias del *Almanaque*, con las correcciones de Azarquiel, con las que pueden calcularse para el mediodía de la misma fecha (1.9.1088) utilizando las *Tablas de Toledo*[89]:

Planeta	*Almanaque*	*T. Toledo*	*Dif.*
Sol	157;14°	164;53°	- 7;39°
Mercurio	167°	175;51°	- 8;51°
Venus	115;30°	124;23°	- 8;53°
Marte	151;30°	159;36°	- 8; 6°
Júpiter	91;30°	101; 4°	- 9;34°
Saturno	57;30°	63;54°	- 6;14°

[88] W.D. Stahlman y O. Gingerich, *Solar and Planetary Longitudes for Years -2500 to +2000*, Madison, 1963.

[89] Utilizo un programa de ordenador cuyo esqueleto fue diseñado por el Prof. E.S. Kennedy y en el cual la adaptación a las *Tablas de Toledo* fue llevada a cabo por H. Mielgo.

Como puede comprobarse, la columna de diferencias registra valores comprendidos entre 6;14° y 9;34°, lo que me mueve a seguir la hipótesis, ya formulada por Swerdlow, de que Azarquiel, con sus correcciones, pretendía obtener longitudes sidéreas, no trópicas, lo cual está de acuerdo no sólo con las *Tablas de Toledo*, cuyas tablas de movimientos medios en longitud son también sidéreas, sino también con su teoría solar que, como hemos visto, se encontraría aquí representada en las tablas solares del *Almanaque*. De hecho la columna de longitudes del sol y los planetas calculada con las *Tablas de Toledo* está corregida para obtener longitudes trópicas, utilizando las tablas de trepidación del *Liber de motu* que dan un valor de la precesión de 7;18° para el año 1088 de nuestra era: se trata de un valor próximo al de la diferencia que corresponde al sol (7;39°) y no muy alejado del valor medio que podemos obtener en la columna de diferencias (8;12°).

3.3.3 INSTRUMENTAL ASTRONOMICO.

3.3.3.1. *Generalidades.*

El siglo XI andalusí se caracteriza por un notable interés en el desarrollo del instrumental astronómico y surgen, en este campo, novedades interesantes. Como introducción al tema, nada mejor que recurrir al mayor astrónomo de este siglo, Azarquiel, el cual en el prólogo a la parte relativa al uso de su azafea, hace una auténtica clasificación de los instrumentos de su tiempo que resulta interesante[90]. Recordemos que, según el *Yesod ᶜOlam* de Isaac Israelí (s.XIV), Azarquiel habría comenzado su vida profesional como artesano constructor de instrumentos que trabajaba para el grupo de astrónomos que rodeaban al cadí Ṣāᶜid[91]. Su clasificación resulta, por ello, un elenco del instrumental del que, tal vez, se disponía en el Toledo del siglo XI. La finalidad básica de los instrumentos que menciona es «determinar las horas y las variaciones en la duración de los días y

[90] Utilizo el manuscrito 4824 de la Biblioteca Nacional de París (fols. 8r-10r) y la traducción castellana alfonsí en M. Rico y Sinobas, *Libros del Saber de Astronomía del Rey D. Alfonso X de Castilla* (5 vols. Madrid, 1863-1867) III, 149-150.

[91] Millás, *Azarquiel* pp. 12-13.

las noches en cualquier lugar así como otras aplicaciones relacionadas con lo anterior» y los clasifica en dos grandes categorías:

1. *Instrumentos «sombríos» (ẓilliyya)* en los que se observa la sombra proyectada por un gnomon. Según señala el propio Azarquiel, tienen el inconveniente de que sólo pueden utilizarse de día. Dentro de este grupo menciona los cuadrantes solares horizontales (los únicos de los que, según hemos visto en § 2.5.2.4, conservamos piezas en España) y verticales. A estos se añaden los cuadrantes «cilíndricos» (*usṭuwāniyya*) y «cónicos» (*majrūṭiyya*), fundamentalmente utilizados como relojes de sol portátiles (*horologia viatorum*) y que fueron conocidos tanto por la tradición islámica como por la occidental. Uno de los relojes cónicos es la *mukḥula* mencionado en el siglo XII en el *Kitāb al-anwā'* de al-Umawī al-Qurṭubī (m.1206)[92].

2. *Instrumentos «rayosos» (šuᶜāᶜiyya)* en los que se observa directamente el rayo de luz proyectado por el sol o un cuerpo celeste. Entre estos cita los cuadrantes astronómicos (*arbāᶜ al-dawā'ir*), la esfera [celeste], el astrolabio, la armilla (*al-ḥalqa*), la esfera armilar (*al-ḥalaq*), y las «alidadas» (*al-ᶜaḍā'id*). Antes de proseguir glosando las palabras de Azarquiel, conviene hacer algunas precisiones en torno a los cuadrantes, armilla y alidadas. Nuestro autor no nos precisa a qué tipo de cuadrantes se refiere y el único instrumento de esta índole documentado en España en esta época es el denominado por Millás cuadrante *vetustissimus*[93], un cuadrante de senos provisto de un cursor con una escala gráfica de declinaciones solares a lo largo del año juliano. En lo que respecta a las armillas o anillos, se trata de círculos graduados más o menos sofisticados y de tamaños distintos, a veces provistos de una alidada. Evidentemente fueron conocidos por Ptolomeo quien describe, por ejemplo, una armilla meridiana o solsticial (*Almagesto* I,10), situada en el plano del meridiano y utilizada para determinar la altura meridiana del sol y, por consiguiente, la oblicuidad de la eclíptica y la latitud del lugar. El *Almagesto* (III,2) se refiere también a la armilla equinoccial utilizada para determinar el momento preciso del paso del sol por los

[92] Sobre la *mukḥula* cf. J.W. Livingston, «The Mukḥula, an Islamic Conical Sundial», *Centaurus* 16 (1972), 199-308. Sobre el conocimiento de este instrumento en al-Andalus cf. M. Forcada, «Mīqāt en los calendarios andalusíes», *Al-Qanṭara* 11 (1990), 59-69.

[93] J.M. Millás, «La introducción del cuadrante con cursor en Europa», *Isis* 17 (1932), 218-258 (reimpreso en *Estudios sobre historia de la ciencia española*, Barcelona, 1949, pp. 65-110).

equinoccios. Además de los dos tipos de armilla mencionados, hay que citar también las armillas acimutales. Es muy usual la mención de este tipo de instrumentos en los observatorios islámicos dada la importancia que en ellos tuvieron las observaciones solares a las que, como hemos visto, también se dedicó intensamente Azarquiel, razón por la cual cabe suponer que dispuso de ellos tanto en Toledo como en Córdoba. En lo que respecta a las «alidadas» (que el texto alfonsí traduce por «reglas»), creo que se trata del *triquetrum* u órgano paraláctico (llamado en árabe *al-ᶜiḍāda al-ṭawīla*, «alidada larga»), un instrumento ptolemaico que consta de tres reglas que engarzan entre sí: una es perpendicular al horizonte y las otras dos pueden orientarse en el plano meridiano o en otro plano cualquiera. Sirve, por ello, para medir cualquier tipo de alturas, meridianas o no. Fue, probablemente, conocido en al-Andalus a través del *Almagesto* o de las tablas de al-Battānī en las que aparece descrito.

Los instrumentos citados, hasta aquí, por Azarquiel son, según él, los que más se utilizan en las «observaciones» (?)/ «medidas» (?) (*al-qiyāsāt*), precisando que, en lo que respecta a la armilla, alidadas y cuadrantes, su aplicación básica es determinar alturas [por observación directa] y sombras [utilizando alguna escala gráfica de cotangentes y/o tangentes]. En cuanto a la esfera armilar, su uso es escaso porque resulta de manejo difícil, y sólo suele aplicarse a la determinación de la longitud y latitud de las estrellas. El texto de Azarquiel se ocupa, a continuación de la esfera celeste (cf. Fig. 17) que, en rigor no puede considerarse como un instrumento de observación sino, más bien, de demostración y de medida[94]: señala que resulta muy útil ya que, en él, puede situarse la eclíptica en la posición correcta con relación a cualquier horizonte con lo que resulta posible estudiar y determinar los puntos de orto y ocaso de los cuerpos celestes, así como medir los arcos diurnos de éstos y de cualquier grado de la eclíptica. Desgraciadamente las esferas celestes que ha encontrado, construidas por otros artesanos, tienen el inconveniente de que pueden adaptarse a un escaso número de latitudes pero él construyó una esfera que podía adaptarse, de grado en grado, a cualquier latitud, a la que añadió un círculo que permitía conocer los acimuts. Según Azarquiel, son escasos los artesanos que construyen este tipo de instrumentos y su uso resulta difícil. El

[94] Véase sobre este tipo de instrumento y su difusión en la España Medieval J. Samsó, «El tratado alfonsí sobre la esfera», *Dynamis* 2 (1982), 57-73.

Fig. 17
Esfera celeste conservada en el Museo de Historia de la Ciencia de Oxford.

pasaje que acabo de resumir resulta difícil de entender ya que no veo la dificultad de ajustar una esfera celeste a cualquier latitud si dispone, como es habitual, de una armilla meridiana graduada y engarzada en una guía que permita situar el polo celeste a una distancia del horizonte igual a la latitud del lugar; por otra parte parece que el «círculo para conocer los acimuts» (*dā'irat li-maᶜrifat al-sumūt*) debiera ser, simplemente, un horizonte graduado que forma parte del utillaje normal de este tipo de instrumentos. Todo esto me mueve a plantear la posibilidad de que el instrumento al que alude Azarquiel no sea, propiamente, una esfera celeste sino un astrolabio esférico, instrumento que aparece citado *nominatim* (*asṭurlāb kurī*) más adelante en este mismo prólogo que estoy glosando. En cualquier caso parece claro que Azarquiel construyó una esfera celeste o bien un astrolabio esférico (cf. Fig. 6) instrumento, este último, que no debía ser común en la España Musulmana: recordemos (§ 2.5.2.3) que los colaboradores del rey Alfonso no pudieron encontrar un tratado en árabe sobre el astrolabio esférico y que se vieron obligados, para describir sus usos, a adaptar el tratado de Ibn al-Samḥ sobre el astrolabio llano.

Sigue, a continuación, Azarquiel con una mención del astrolabio y de los motivos que le llevaron a diseñar su azafea, tema del que me ocuparé, más adelante, en § 3.3.3.3. Paso, ahora, al análisis del tratado escrito por Azarquiel sobre la esfera armilar, una obra que, habitualmente, se omite en la bibliografía de este astrónomo[95].

3.3.3.2. *Esfera armilar* (cf. Fig. 18).

He mencionado ya en § 2.2 que la primera documentación de la esfera armilar en al-Andalus lo constituye la referencia a que ᶜAbbās ibn Firnās construyó un instrumento de esta índole para ᶜAbd al-Raḥmān II (821-852). Unos cuatro siglos más tarde surgirá el primer tratado hispánico sobre este instrumento con el *Libro de las Armellas* alfonsí[96] cuya introducción señala que el rey Alfonso encargó su composición a Rabiçag (Rabí Isaac), el más importante de sus astró-

[95] Millás, *Azarquiel* pp. 18-21; lo menciona, en cambio, G. Sarton, *Introduction to the History of Science* II (Baltimore, 1931), p. 836.

[96] Rico, *Libros* II, 1-79. Cf. F. Nolte, «Die Armillarsphäre», *Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin* (Erlangen) Heft II (1922), 1-50 (cf. especialmente pp. 26-47).

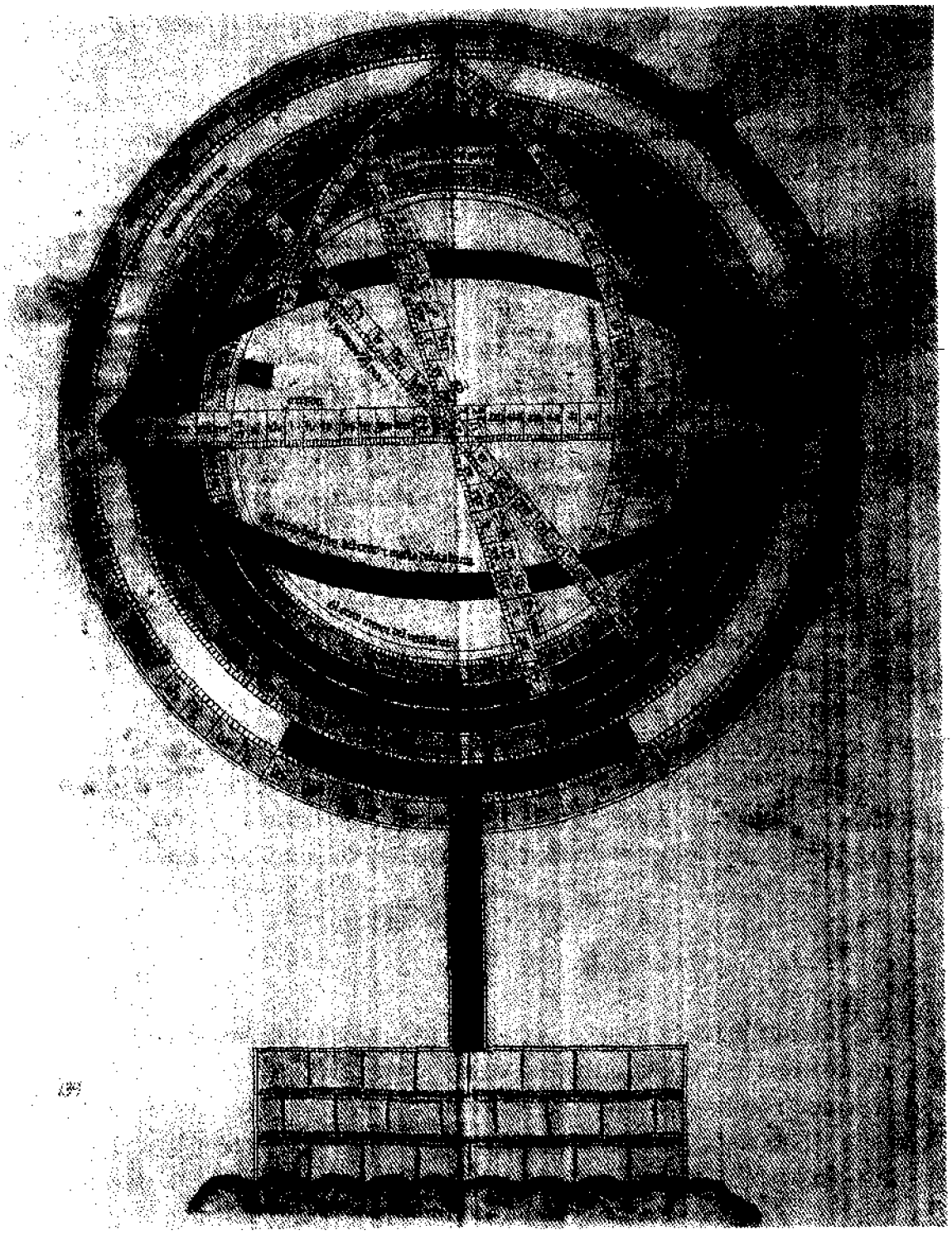


Fig. 18

Representación de una esfera armilar en el manuscrito 156 de la Biblioteca de la Universidad Complutense (Madrid) que contiene la copia salida del *scriptorium* regio de los *Libros del Saber de Astronomía.*

nomos, por lo que éste, en principio, debiera considerarse su autor. Ahora bien, el libro en cuestión se encuentra dividido, de la manera habitual, en dos tratados --sobre la construcción y sobre el uso de este instrumento — el primero de los cuales lleva un prólogo atribuido explícitamente a Abuçach (= Abū Isḥāq) Azarquiel, en el que éste señala las principales aplicaciones de la esfera armilar. Al igual que en el prólogo a la *Azafea*, que acabo de comentar, el astrónomo toledano observa que el instrumento sirve, fundamentalmente, para observar las longitudes y latitudes del sol, luna, planetas y estrellas fijas, a lo que añade que se utiliza también para estudiar la variación de los días y noches en distintas latitudes, determinar la hora y, finalmente, aplicarlo a la práctica astrológica. A esto sigue un pasaje en el que Azarquiel señala que el instrumento era conocido en la antigüedad aunque el primero que lo describió fue Ptolomeo. Me siento inclinado a aceptar la hipótesis de que Azarquiel sería el autor de los once capítulos del tratado de construcción, que habrían sido traducidos por Rabiçag el cual -- tal vez -- sería el autor del tratado de uso. Creo que Azarquiel es, probablemente el autor del tratado de construcción por las razones siguientes[97]:

1) la insistencia del texto en multitud de detalles relativos a la técnica de construcción del instrumento, detalles que encajan muy bien con la personalidad de un Azarquiel que empezó su carrera profesional como artesano.

2) al ocuparse de la oblicuidad de la eclíptica el texto menciona tres valores: 23;51° (que atribuye a Hiparco), 23;33° (astrónomos del califa ᶜabbasí al-Ma'mūn y valor adoptado, finalmente, en el texto), y 23;35° (al-Battānī). Tal como veremos, 23;33° es el parámetro adoptado por Azarquiel quien siempre lo relaciona precisamente con el que determinó Yaḥyà b. Abī Manṣūr, uno de los astrónomos de al-Ma'mūn[98]. Por otra parte los parámetros históricos mencionados por Azarquiel son, posiblemente, los que tuvo en cuenta al establecer su modelo geométrico para justificar las variaciones en la oblicuidad (cf § 3.3.6.3.4).

3) menciona tres localidades cuyas coordenadas están bien establecidas en virtud de observaciones precisas: Toledo (donde observó el propio Azarquiel), Alejandría (Ptolomeo) y al-Raqqa (al-Battānī).

[97] Cf. J. Samsó, «Tres notas sobre astronomía hispánica en el siglo XIII», E.H.C.A. pp. 175-177.

[98] Cf. p.ej. Millás, *Azarquiel* p. 45.

Estos tres indicios, sumados a la mención del nombre de Azarquiel en el prólogo, constituyen un conjunto coherente. Por otra parte, hemos citado ya la referencia que el prólogo hace a la descripción de la esfera armilar realizada por Ptolomeo. Parece, claramente, tratarse de una cita del *Almagesto* (V,1) donde el autor describe el instrumento denominado *astrolabon* que es una esfera armilar con siete armillas que corresponden al meridiano del lugar (dos), eclíptica, coluro de los solsticios y tres círculos máximos de longitud, el menor de los cuales lleva un sistema de dos pínulas de mira con vistas a permitir determinaciones de latitud. El instrumento de Azarquiel parece un desarrollo del de Ptolomeo ya que consta de:

1) *Armilla zodiacal* (eclíptica); 2) *armilla de los polos* (coluro de los solsticios); 3) *armillas del rectificar* (dos armillas que giran en torno a los polos de la eclíptica, la menor de las cuales lleva dos pínulas o una alidada que permite medir ángulos[99]); 4) *Armilla del mediodía* (meridiano, gira en torno a los polos del Ecuador); 5) *armilla del yguador del día* (ecuador); 6) *armilla del horizonte*; 7) *armilla del leuador al medio cerco de altura* (sujeta a la armilla del horizonte, es portadora del semicírculo de altura); 8) *medio cerco de altura* y 9) *armilla del rectificar de la altura* (con dos pínulas).

De la breve descripción anterior puede deducirse que el *astrolabon* ptolemaico era un instrumento concebido exclusivamente para la observación de longitudes y latitudes de los cuerpos celestes, mientras que la esfera armilar de Azarquiel ha complicado notablemente el esquema primitivo con un conjunto de armillas que permiten determinar tanto coordenadas ecuatoriales como horizontales, algo que sólo tiene sentido si no se dispone de instrumental especializado que cumpla mejor esta función específica. Se trata de un instrumento que pudo ser diseñado para la observación, por más que su manejo debía ser, evidentemente engorroso. Por otra parte la descripción del texto alfonsí parece aludir a un instrumento de gran tamaño aunque no tanto como el que la tradición atribuye a Ibn Yūnus (m. 1009) el cual habría utilizado, en sus observaciones en El Cairo, una gigantesca esfera armilar propiedad del califa al-Ḥakīm, dotada también de nueve armillas, cada una de las cuales pesaba dos mil libras y era suficientemente grande como para que un hombre a caballo pudiera

[99] Me señala M. Comes que esta alidada puede constituir una interpolación alfonsí. Véase su comunicación al Simposio Internacional de Historia de la Ciencia Arabe celebrado en Granada en Abril de 1992.

pasar a través de ella[100]. Asimismo llama la atención el cuidado con el que Azarquiel describe cómo orientar adecuadamente el instrumento utilizando la técnica, que ya he comentado a propósito de las *Tablas de Jaén*, del círculo indio (§ 3.3.2.2). En cambio es curioso señalar un notable error por parte del autor (?) cuando trata de establecer las épocas del año en las que podrá hacerse la observación con un error mínimo en la determinación de la línea meridiana:

> Et punna todauía en sacar esta linna de medio dia mientra fuer el sol en piscis. et en aries. o en uirgo. o en libra. et esto es lo meior. Et si la non podieres sacar mientre fuer el sol en estos quatro signos sobredichos. sácala mientra fuer el sol en aquario. o en tauro. o en leo. o en escorpión. et guárdate de la sacar mientra el sol fuer en géminis. o en cancro. o en sagittario. o en capricornio. *ca te saldrá errada por la declinación que es poca en estos logares. et non se muda de un dia a otro sinon poco.*

En este pasaje, Azarquiel parece haber entendido mal el problema: tal como señala Kennedy[101], el procedimiento del círculo indio se basa en determinar, por la mañana y por la tarde, dos acimuts en los que el sol cruza un almucántar determinado. La práctica implica un pequeño error ya que, a lo largo del día, la declinación solar varía ligeramente por lo que, estrictamente, el sol no recorre un paralelo de declinación -- que es lo que implica la técnica del círculo indio -- sino que hace un recorrido en espiral. El error será, por ello, tanto mayor cuanto más cambie la declinación en un día y los cambios de declinación son máximos en los equinoccios y mínimos en los solsticios, tal como nos sugiere aquí el texto, con lo que su argumentación resulta difícil de entender. No es el tipo de equivocación que suele cometer Azarquiel y sólo se me ocurren dos explicaciones posibles: o bien el tratado sobre la construcción de la esfera armilar es una obra muy de juventud y co-

[100] D.A. King, «Ibn Yūnus», D.S.B. 14 (Nueva York, 1976), 574-575.

[101] E. S. Kennedy, *The Exhaustive Treatise on Shadows by Abū al-Rayḥān Muḥammad b, Aḥmad al-Bīrūnī. Translation and Commentary*, Aleppo, 1976, II, 84 ss.

rresponde a la etapa en la que inició su formación como astrónomo, o el pasaje antes citado es una de las tantas interpolaciones alfonsíes.

Sea cual fuere la solución, me parece muy probable que la esfera armilar descrita por Azarquiel sea una de las escasísimas referencias detalladas de que disponemos, en la Edad Media hispánica, a un instrumento de observación que pudo, efectivamente, ser utilizado por el astrónomo toledano en sus observaciones estelares. Por otra parte los astrónomos alfonsíes no entendieron esta función de la esfera ya que el tratado de uso insiste ante todo en su utilización como computador analógico para resolver problemas de astronomía esférica.

3.3.3.3 *Instrumentos universales.*

3.3.3.3.1 Generalidades.

Volvamos al prólogo de Azarquiel al tratado de la azafea. En su enumeración del instrumental astronómico, nuestro autor menciona el astrolabio que considera el mejor de los instrumentos utilizados en su tiempo, es fácil de usar pero tiene el grave inconveniente de no ser un instrumento universal: requiere una lámina para cada latitud y, si no se dispone de una lámina adecuada, hay que operar por aproximación con lo que no se obtienen resultados exactos y, por otra parte, se pierde tiempo. Por este motivo ha diseñado un instrumento universal, la azafea, utilizable para cualquier latitud de tal modo que «si no se puede o resulta excesivamente laborioso obtener un resultado determinado con estos instrumentos, pueda llegarse a él mediante esta lámina con la exactitud requerida». Esta frase, que traduzco del árabe, tiene un cierto interés ya que, si la referencia a «los instrumentos» alude sobre todo al astrolabio al que acaba de mencionar, parece que Azarquiel diseña la azafea como un instrumento que complementa al astrolabio y que sólo se utilizará si este último no dispone de una lámina adecuada. Es muy posible que Azarquiel fuera consciente de la dificultad y el esfuerzo de imaginación que implican muchas de las aplicaciones de la azafea comparadas con la sencillez del astrolabio. Esta es la causa por la que, muchas veces, nos encontramos con instrumentos mixtos: por una cara astrolabios, con un

número convencional de láminas dentro de la *madre*, y por la otra azafeas.

La azafea es prácticamente contemporánea de la «lámina universal» de ᶜAlī b. Jalaf, autor del que no sabemos casi nada. Ṣāᶜid de Toledo lo menciona entre los jóvenes que destacan en su tiempo como estudiosos de la filosofía y da su nombre completo: Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. Jalaf b. Aḥmar al-Ṣaydalānī (el Farmacólogo)[102]. Por otra parte[103], el manuscrito 962 de El Escorial, que contiene el tratado en cien capítulos sobre la azafea de Azarquiel, le denomina Abū-l-Šaŷŷār («padre del botanista») en una nota final que, sin duda, es adición del copista. Asimismo, el *zīŷ* de Ibn Isḥāq, al que ya me he referido en § 3.3.2.2, le denomina ᶜAlī al-Šaŷŷār y le atribuye una determinación de la longitud (sidérea) del apogeo solar (77;13,35º) y una observación de la oblicuidad de la eclíptica (23;32,12º) que habría llevado a cabo, juntamente con el farmacólogo, médico y agrónomo Ibn Wāfid en Toledo en el año 477/ 1084-85. Ibn Wāfid murió en 467/1074-75, por lo que la fecha anterior debiera, como mínimo, corregirse en diez años: tengo la impresión, no obstante, de que la tabla del *zīŷ* de Ibn Isḥāq en la que éste menciona las presuntas observaciones anteriores, junto con otras muchas, no resulta, en modo alguno, fiable[104], por lo que lo único que debe retenerse de lo anterior es que ᶜAlī b. Jalaf era denominado al-Ṣaydalānī y al-Šaŷŷār, dos nombres de oficio que resultan casi sinónimos, y que posiblemente tuvo relación con Ibn Wāfid, otro botanista toledano contemporáneo suyo. Conviene señalar asimismo que Ṣāᶜid afirma que ᶜAlī b. Jalaf era un destacado geómetra, mientras que considera a Azarquiel como el mayor astrónomo de su tiempo.

Tanto la azafea (a la que Azarquiel denomina, en el prólogo tantas veces citado, *al-ṣafīḥa al-muštaraka li-ŷamīᶜ al-ᶜurūḍ*, lámina

[102] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān p. 180; trad. Blachère pp. 138-139.

[103] D.A. King, «On the Early History of the Universal Astrolabe in Islamic Astronomy, and the Origin of the Term "Shakkāzīya" in Medieval Scientific Arabic», *Journal for the History of Arabic Science* 3 (1979), 244-257. Este artículo ha sido reeditado en D.A. King, *Islamic Astronomical Instruments*. Variorum Reprints. Londres, 1987, nº VII.

[104] Cf. M. Comes, «Deux échos andalous à Ibn al-Bannā' de Marrākush». *Actes du VII Colloque Universitaire Tuniso-Espagnol sur le Patrimoine Andalous dans la Culture Arabe et Espagnole. Tunis 3-10 Fevrier 1989*, Cahiers du CERES, série Histoire nº 4, Túnez, 1991, pp. 81-94

común para todas las latitudes) como la lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf -- denominada también *orizón universal* en la versión alfonsí[105] -- utilizan, como el astrolabio, una proyección estereográfica pero han cambiado tanto el centro como el plano de proyección: el plano no es, como en el astrolabio convencional, el ecuador sino el coluro de los solsticios, mientras que el centro de proyección no es el Polo Sur sino que se encuentra en los dos puntos (Aries y Libra) en los que se cortan el ecuador y la eclíptica. Se trata, pues, de dos proyecciones que se superponen en el instrumento (cf. Fig. 19). Este sistema de proyección estereográfica meridiana tiene una gran ventaja con respecto a la estereográfica ecuatorial propia del astrolabio: en ella la proyección del horizonte del lugar es una línea recta que pasa por el centro del instrumento y, por tanto, una regla giratoria (alidada) sujeta mediante un pivote al centro de la lámina en la azafea, o un diámetro de la red giratoria en la lámina universal pueden muy bien representarnos cualquier horizonte. Tenemos, por consiguiente, un horizonte móvil y el nuevo astrolabio se convierte en un instrumento auténticamente universal susceptible de ser utilizado para cualquier latitud.

La proyección estereográfica meridiana parece estar documentada, por primera vez, en las obras de ᶜAlī b. Jalaf y Azarquiel antes mencionadas. Conviene recordar, a este respecto, que se ha editado, traducido y comentado el escrito de al-Bīrūnī titulado *Tasṭīḥ al-ṣuwar wa tabṭīḥ al-kuwar*[106], un tratado sobre la proyección de la esfera sobre un plano en el que se describen, entre otros, dos métodos de proyección no estereográfica (denominados, hoy en día, proyección acimutal equidistante y proyección globular) que dan una imagen muy similar a la utilizada por Azarquiel y ᶜAlī b. Jalaf. No hay, pues, de momento nada que haga pensar en un origen oriental de los dos instrumentos mencionados ya que, pese a las apariencias,

[105] La traducción castellana alfonsí (Rico, *Libros* III, 11-132) del tratado de uso de la lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf es el único texto de este autor del que disponemos: el original árabe parece perdido. A esto hay que añadir el tratado de construcción (Rico, *Libros* III, 4-10), obra de Isḥāq b. Sīd.

[106] J.L. Berggren, «Al-Bīrūnī on Plane Maps on the Sphere». *Journal for the History of Arabic Science* 6 (1982), 47-96; E.S. Kennedy y M.Th. Debarnot, «Two Maps Proposed by Bīrūnī». *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 1 (1984), 145-147.

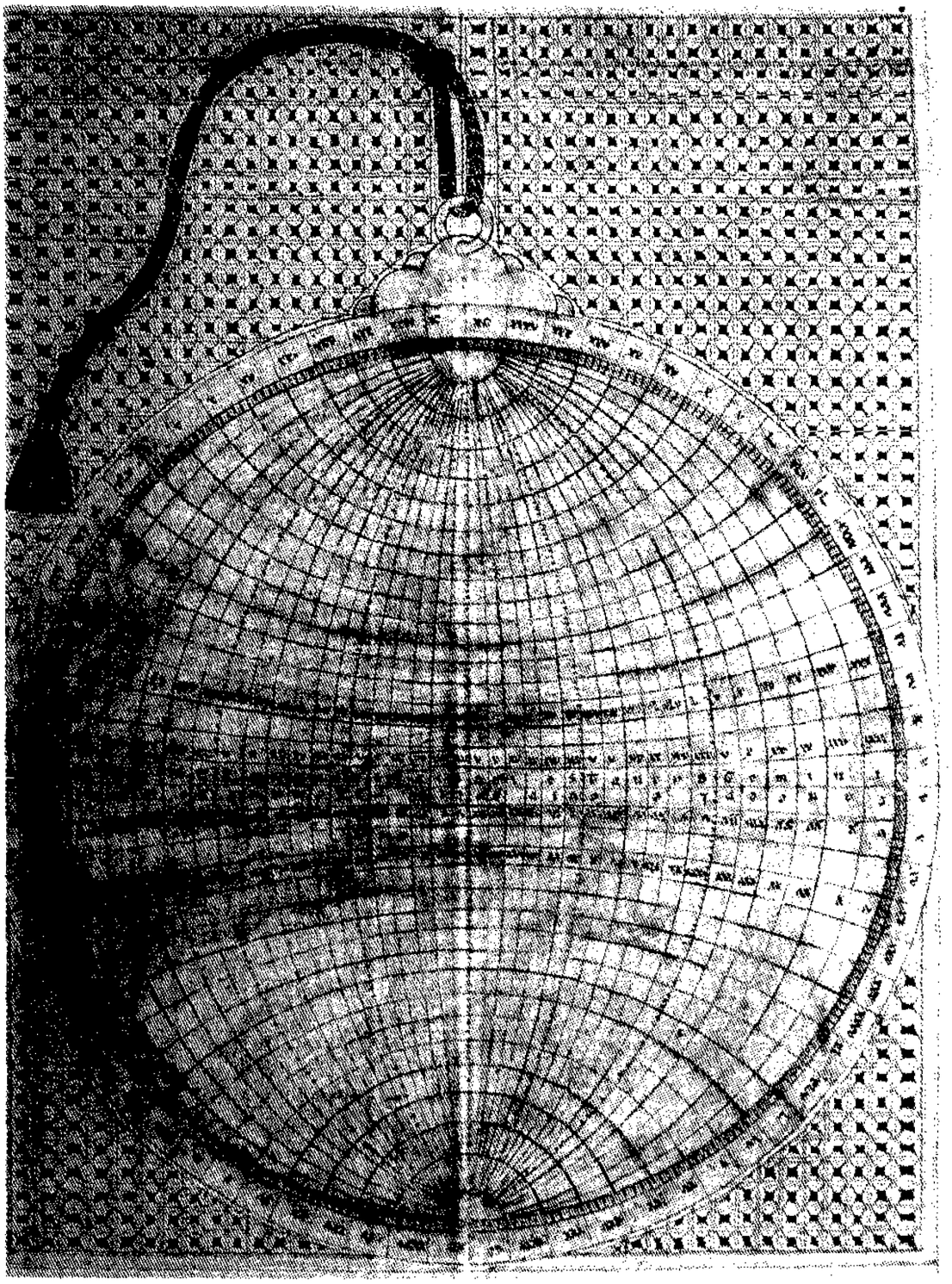


Fig. 19

«Madre» de la lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf según el manuscrito 156 de la Biblioteca de la Universidad Complutense.

los métodos de proyección utilizados son distintos[107]. Tampoco parece que tenga demasiada base la atribución al astrónomo damasceno Ḥabaš al-Ḥāsib (fl. c. 850) de un instrumento similar a los que estoy analizando aquí[108]: la evidencia es tardía y sólo apunta a que Ḥabaš trató sobre la «lámina de los horizontes» (*al-ṣafīḥa al-āfāqiyya*) expresión que, en su significado habitual, designa una lámina en la que, utilizando una proyección estereográfica ecuatorial, se han grabado múltiples líneas de horizonte[109]. El problema que se habría planteado Ḥabaš sería análogo al de Azarquiel y ᶜAlī b. Jalaf pero la solución adoptada, bien conocida en múltiples textos e instrumentos posteriores a la época de Ḥabaš, es radicalmente distinta y enlaza, más bien, con la de Ibn Baṣo, astrónomo granadino del siglo XIV (§ 6.3.2.2.2). Todo esto no implica un rechazo total y absoluto de la posibilidad de que en la Antigüedad Clásica y/o en Oriente se hubieran realizado análisis teóricos que llevaran a la proyección estereográfica meridiana: creo, en este sentido, que habría que buscar los orígenes del sistema en la tradición de los métodos *analemma*, que dieron lugar también a la proyección ortográfica. Un posible indicio a este respecto se encuentra en un pasaje incompleto de un autor oriental de la segunda mitad del s. IX, ᶜAlī b. Sulaymān al-Hāšimī, estudiado por Id[110]. Al-Hāšimī se plantea el problema de determinar rápidamente el tiempo que tarda cada signo zodiacal en cruzar el horizonte. El procedimiento a seguir se insinúa e Id lo completa utilizando la técnica clásica antes citada: para determinar la ascensión recta de un punto de la eclíptica realiza una proyección ortogonal cuyo centro es el punto vernal y cuyo plano es el coluro de los solsticios[111].

[107] No obstante, tal como me señala R. Puig, es un hecho que al-Bīrūnī, al describir -- en el *Tasṭīḥ* -- la proyección cilíndrica (hoy ortográfica) sustituye el plano del ecuador, como plano de proyección, por el del coluro de los solsticios. Es un dato más a tener en cuenta en el espinoso problema de determinar si al-Bīrūnī -- y otros contemporáneos suyos -- fue conocido en al-Andalus.

[108] King, «On the Early History» p. 255.

[109] H. Michel, *Traité de l'Astrolabe*, París, 1947, pp. 37-38 y 91-92.

[110] Y. Id, «An Analemma Construction for Right and Oblique Ascensions», *The Mathematics Teacher* 62 (1969), 669-672. Reimpreso en S.I.E.S. 495-498.

[111] Cf., no obstante, F.I. Haddad, E.S. Kennedy y D. Pingree, *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables* (Kitāb fī ᶜIlal al-zījāt) *by ᶜAlī ibn Sulaymān al-Hāshimī*, Nueva York, 1981, p. 277: la solución de Id resulta coherente con el texto fragmentario pero se trata sólo de una de las muchas soluciones

Visto lo anterior, y antes de ocuparnos del espinoso problema de la precedencia de la lámina universal con respecto a la azafea o viceversa, conviene que describamos rápidamente los dos instrumentos y las dos variantes del de Azarquiel[112]:

3.3.3.3.2 Lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf.

El tratado sobre el uso de este instrumento se encuentra exclusivamente en la traducción castellana alfonsí incluida en los *Libros del Saber de Astronomía*, acompañado por un breve texto sobre la construcción del instrumento cuyo autor es el célebre Rabiçag (Isaac b. Sid), el principal de los astrónomos alfonsíes. En el prólogo a los dos capítulos dedicados a la construcción se nos señala que el rey Alfonso ha ordenado su redacción a Rabiçag, ya que «el sabio que fizo esta lámina sobredicha non fizo libro de cuemo se deue fazer de nueuo» por más que en el prólogo de ᶜAlī b. Jalaf--por tanto en la parte del texto alfonsí que suponemos traducción del árabe -- el astrónomo toledano diga que «fiz este libro en que fabla de cuemo se deue fazer de nueuo» (?) y mencione un proyecto de redactar, en el futuro, un tratado sobre la proyección de la esfera sobre un plano, que incluiría la descripción del sistema de proyección utilizado en su instrumento:

> fata que ouiesse uagar de fazer un libro en que fable de quántas maneras se puede allanar la espera, con prueuas de geometría sobre cada uno, assí cuemo a mester, et en aquel libro fablaré de qué manera fue allanada la espera en este estrumento et de cuemo son las prueuas sobrél.

Sea cual fuere la interpretación que se dé a la primera de las citas anteriores, parece claro que no conservamos el tratado de ᶜAlī b. Jalaf sobre la construcción del instrumento y no hay evidencia alguna de que llegara nunca a escribir el libro sobre los sistemas de proyección de la esfera sobre un plano. Los dos capítulos añadidos

gráficas posibles.

[112] Una comparación entre la lámina universal y la azafea se encontrará en J.M. Millás Vallicrosa, «Un ejemplar de azafea árabe de Azarquiel», *Al-Andalus* 9 (1944), 111-119.

por Rabiçag se ajustan a la descripción del instrumento, tal como aparece en el primer capítulo del tratado de uso, pero no contienen nada original: dado que, como he indicado repetidamente, azafea y lámina universal utilizan el mismo sistema de proyección estereográfica, Rabiçag parece haber seguido fielmente el método de construcción descrito por Azarquiel en el tratado sobre construcción de la azafea, añadiendo únicamente una puesta al día en su descripción del calendario zodiacal en el que, para determinar la longitud del sol que corresponde al comienzo de cada mes, utiliza una lista de posiciones que aparece también en otros textos alfonsíes y que están calculadas con las tablas de al-Battānī o con las mismas *Tablas Alfonsíes*[113].

El dorso de la lámina universal es muy similar al que suele encontrarse en los astrolabios convencionales y no hace falta entretenerse en él: consta de un círculo exterior dividido en cuatro cuadrantes cada uno de los cuales está graduado de 0° a 90°, de un calendario zodiacal y de un doble cuadrado de sombras. En cuanto a la faz del instrumento lleva grabada en el fondo de la *madre* una única red de coordenadas de acuerdo con una proyección estereográfica meridiana. Sobre la *madre* gira una red móvil dividida, por un diámetro, en dos partes: una de ellas, similar a la araña de los astrolabios, consta de un sistema de garfios o índices cada uno de los cuales corresponde a la proyección de una determinada estrella. La otra mitad de la red corresponde a una segunda red de coordenadas, con el mismo sistema de proyección anterior. El tratado de uso estudia, de manera prolija y repetitiva (no hay que descartar la presencia de interpolaciones alfonsíes), las múltiples aplicaciones del instrumento que tiene, con respecto a la azafea, la ventaja de disponer de dos redes de coordenadas que pueden superponerse una sobre otra con el fin de realizar, por lectura directa, transformaciones de coordenadas. Ahora bien si, en un momento determinado, hay que jugar con tres sistemas en lugar de dos, el usuario del instrumento se ve obligado a emplear técnicas muy similares a las que se aplican a la azafea.

No se conserva ningún ejemplar completo de la lámina universal. El instrumento catalogado con este título en el Museo de la Historia de la Ciencia de Oxford parece tener poco que ver con la lámina tal

[113] J. Samsó, «Sobre el trazado de la azafea y de la lámina universal: intervención de los colaboradores alfonsíes», *Al-Qanṭara* 8 (1987), 29-43.

como la describe ᶜAlī b. Jalaf[114]. Sólo el Museo de Arte Islámico de El Cairo contiene, como me señala R. Puig, lo que muy bien podría ser una madre de lámina universal. Finalmente, el instrumento completo que más se asemeja a la lámina universal es el astrolabio de Ibn al-Sarrāŷ, un astrónomo sirio de principios del siglo XIV, del que se conserva un magnífico ejemplar en el Museo Benaki de Atenas. Este astrolabio presenta una multitud de posibles configuraciones, en una de las cuales[115] a una lámina de *šakkāziyya* (§ 3.3.3.3.3) se le superpone una red móvil muy similar a la descrita por ᶜAlī b. Jalaf. Resulta, evidentemente, muy difícil, en el estado actual de nuestros conocimientos, establecer con seguridad si el instrumento toledano fue conocido en Oriente (a lo que parece apuntar la madre conservada en el Museo de El Cairo) o si, como dice D. King, Ibn al-Sarrāŷ reinventó la lámina universal.

3.3.3.3.3 Las dos variantes de la azafea de Azarquiel: «šakkāziyya» y «zarqāliyya».

La azafea de Azarquiel está abundantemente documentada tanto en los manuscritos como en instrumentos efectivamente conservados. Los manuscritos revelan la existencia, por lo menos, de dos redacciones que corresponden a dos variantes del instrumento: una redacción en 60 capítulos en la que se nos describe el instrumento simplificado al que buena parte de la tradición árabe posterior denominará azafea *šakkāziyya*[116]; una segunda versión en 100 capítulos describe la versión más elaborada, habitualmente denominada

[114] Véanse buenas fotografías de este instrumento en el catálogo, *Instrumentos astronómicos en la España Medieval. Su influencia en Europa*. Sta. Cruz de la Palma, 1985, pp. 90-91, así como también en L.C.A. p. 239. Cf. E. Calvo, «La lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf (s. XI) en la versión alfonsí y su evolución en instrumentos posteriores», O.E.Y.A.F., 221-238.

[115] Cf. la lámina 5 de D. King, «On the Early History» p. 254, así como L.C.A. p. 236; sobre el astrolabio de Ibn al-Sarrāŷ cf. D. King, «The Astronomical Instruments of Ibn al-Sarrāj: a Brief Survey». *Islamic Astronomical Instruments* (Londres, 1987) nº IX. Cf. también L.C.A. p. 236.

[116] R. Puig, «Concerning the ṣafīḥa šakkāziyya», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 2 (1985), 123-139; id., *Al-Šakkāziyya. Ibn al-Naqqāš al-Zarqālluh. Edición, traducción y estudio*, Barcelona, 1986. Esta versión en 60 capítulos es la que fue objeto de las versiones hebrea y latina editadas y traducidas al catalán por J.M. Millàs Vallicrosa, *Don Profeit Tibbon: Tractat de l'Assafea d'Azarquiel*, Barcelona, 1933.

azafea *zarqāliyya*. Esta segunda redacción es la que fue objeto de la traducción alfonsí y disponemos de un tratado de construcción del propio Azarquiel, en el que se nos describe cómo trazar el instrumento correspondiente, que también se incorporó a los *Libros del Saber*[117]. D. King señala, por otra parte, la existencia de dos manuscritos de Istambul que contienen una tercera versión en 80 capítulos pero no aclara qué tipo de instrumento describen[118].

Veamos, rápidamente, las principales características de los dos instrumentos: la azafea *šakkāziyya* lleva, en la faz (Fig. 20), una red completa de coordenadas que, en principio, se definen como ecuatoriales, sobre la que se superpone la proyección de la eclíptica y la de los círculos máximos de longitud que corresponden a los principios de los signos zodiacales. Sobre la faz del instrumento se proyectan también algunas estrellas fijas ya que la azafea no dispone, como la lámina universal, de una araña móvil similar a la de los astrolabios. Una regleta graduada que gira sobre un pivote situado en el centro del instrumento corresponderá al horizonte, pudiendo colocarse sobre el limbo graduado de tal modo que la altura del polo sobre el horizonte sea igual a la latitud del lugar. En lo que respecta al dorso (Fig. 21), aparece en ella un círculo exterior en el que el semicírculo superior está dividido en dos cuadrantes graduados de 0° a 90° que sirven, en combinación con la alidada de pínulas, para medir alturas. El semicírculo inferior, en cambio, lleva una escala de *sombras* (tangentes y cotangentes) proyectadas desde el doble cuadrado de sombras situado bajo el diámetro horizontal del instrumento. A los trazados anteriores se añade un calendario zodiacal.

En lo que respecta a la azafea *zarqāliyya*, la característica fundamental de la faz del instrumento (Fig. 22) es que lleva una doble red de coordenadas (en principio, ecuatoriales y eclípticas), amén de la proyección de algunas estrellas fijas y de la regleta-horizonte. El dorso (Fig. 23) resulta mucho más interesante: el círculo exterior está graduado como en la *šakkāziyya*, pero aquí la escala de tangentes y cotangentes del semicírculo inferior no resulta supérflua ya que ha desaparecido del instrumento el cuadrado de sombras. A esto se añade, también como en la *šakkāziyya*, un calendario zodiacal. En el interior de estos trazados, y dentro de un

[117] Rico, *Libros* III, 135-237; R. Puig, *Los Tratados de Construcción y Uso de la Azafea de Azarquiel*, Madrid, 1987.

[118] D. King, «On the Early History» pp. 253-255.

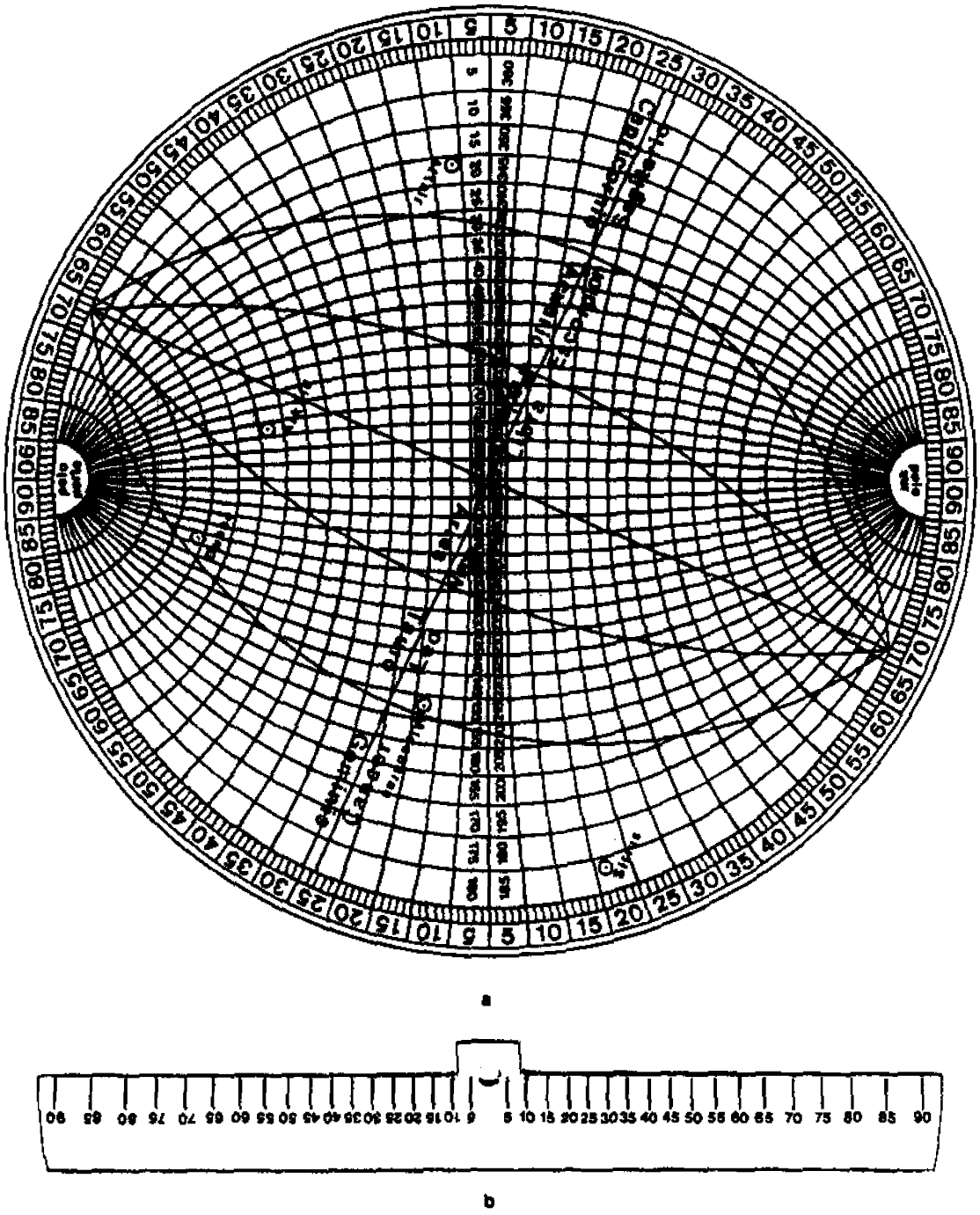


Fig. 20

Faz de la azafea *Šakkāziyya* según R. Puig y X. Crous.

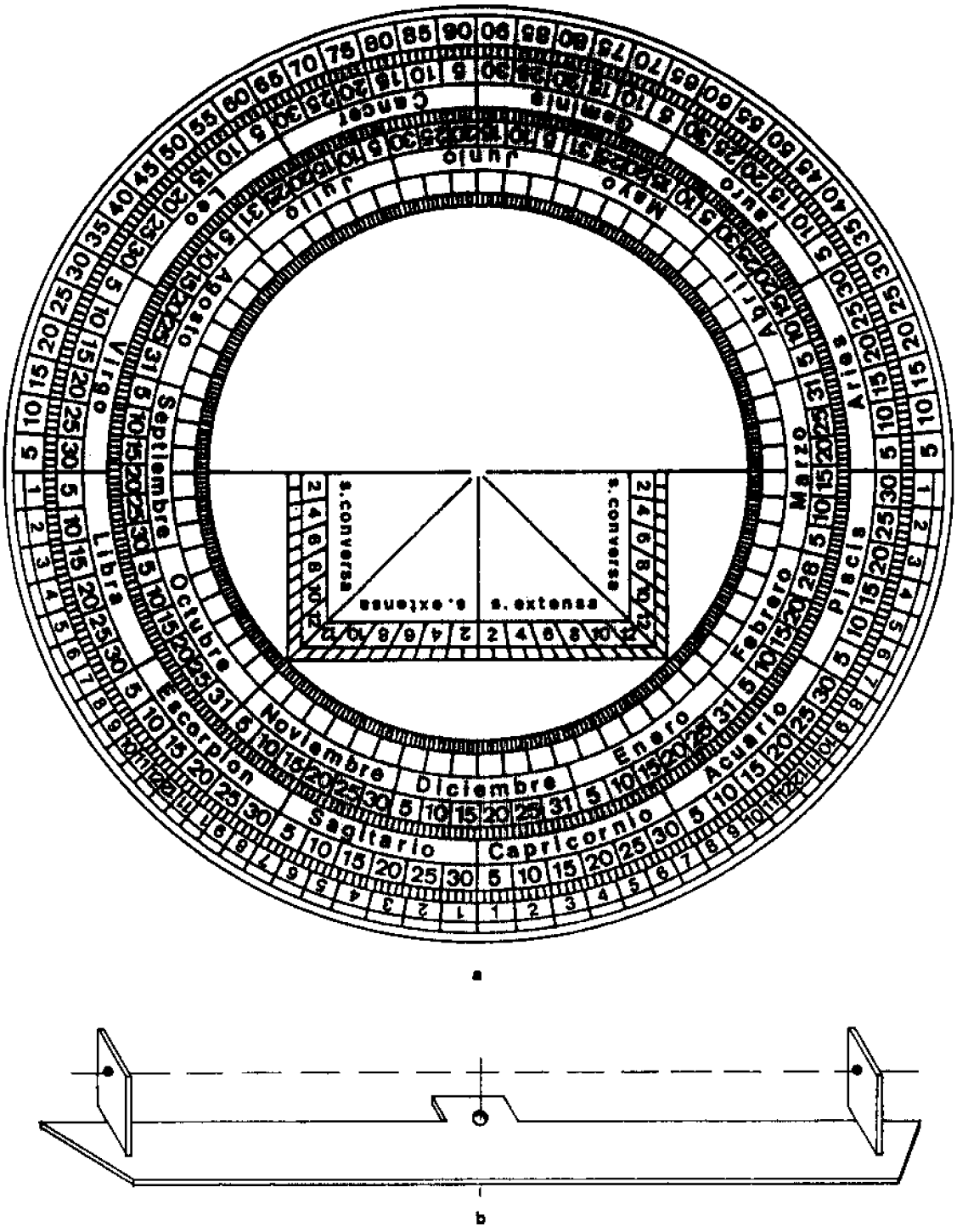


Fig. 21

Dorso de la azafea *šakkāziyya* según R. Puig y X. Crous.

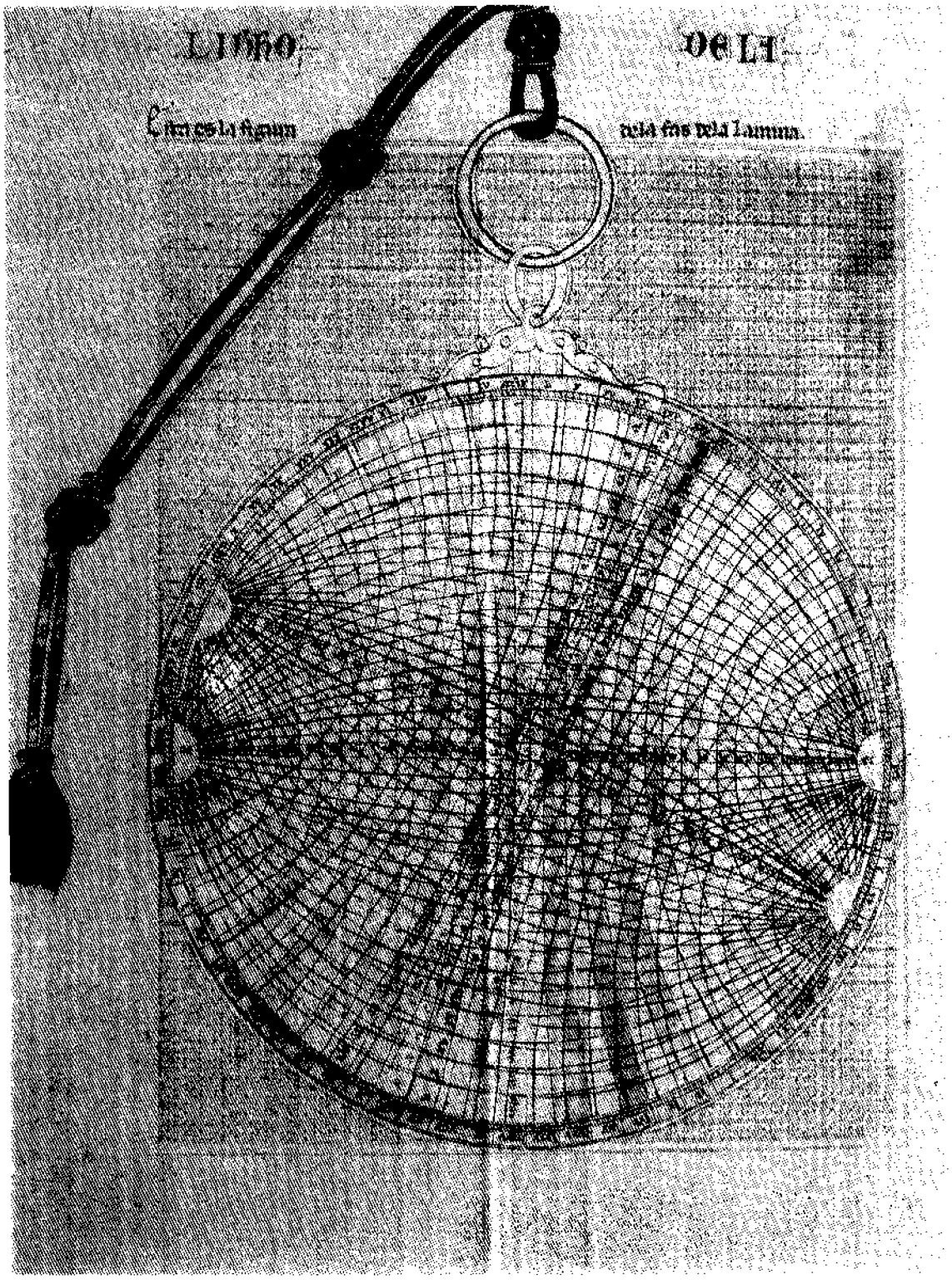


Fig. 22

Faz de la azafea *zarqāliyya* en el manuscrito 156 de la Biblioteca de la Universidad Complutense.

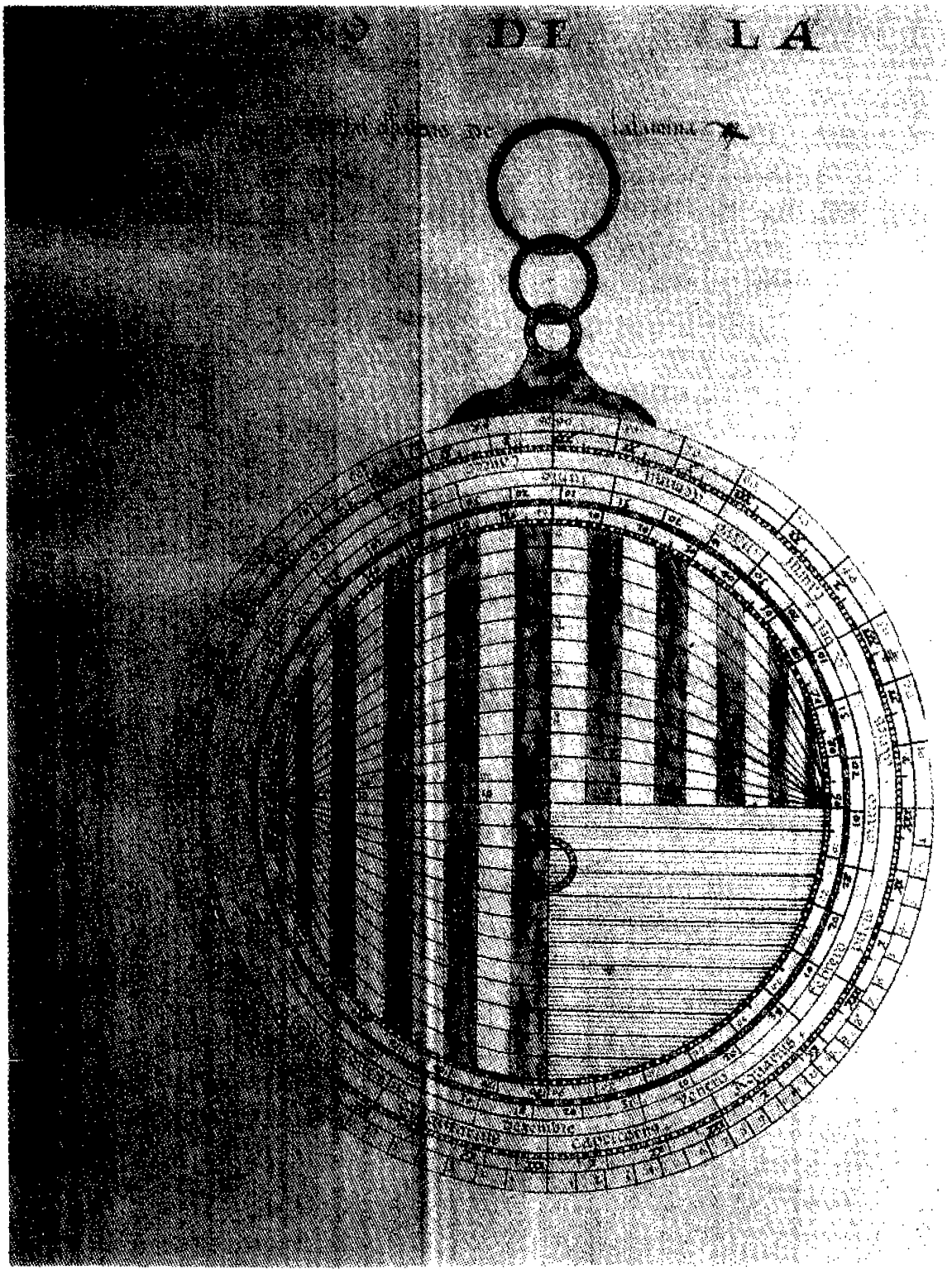


Fig. 23

Dorso de la azafea *zarqāliyya* según el manuscrito h.I.1 de la Biblioteca de El Escorial, que contiene una copia de los *Libros del Saber de Astronomía.*

círculo dividido en cuatro cuadrantes graduados de 0° a 90°, el espacio libre aparece dividido, por dos diámetros perpendiculares, en cuatro partes en tres de las cuales (las dos superiores y la inferior izquierda) aparece una nueva red de coordenadas que no está trazada con una proyección estereográfica meridiana sino ortográfica meridiana (con centro de proyección en el infinito)[119]. El cuarto cuadrante (inferior derecho) es un cuadrante de senos que se compone de 60 perpendiculares levantadas desde cada una de las 60 divisiones del radio inferior del círculo[120]. Recordemos que, si se exceptúa el cuadrante de senos que aparece en el cuadrante *vetustissimus* descrito en el manuscrito 225 del monasterio de Ripoll, esta es la primera vez que un cuadrante de senos aparece documentado en la tradición andalusí y que, por otra parte, se utiliza -- como los cuadrantes orientales -- exclusivamente para resolver cuestiones trigonométricas. Sobre el radio inferior del círculo, dividido en 60 partes como hemos visto, se encuentra el pequeño círculo denominado «círculo de la luna». En el centro del dorso del instrumento pivota una alidada de pínulas sobre la que se desliza una segunda regla denominada «transversal» (*al-muᶜtariḍa*)[121].

La azafea *zarqāliyya* presenta, pues, importantes novedades con respecto a la *šakkāziyya* y se impone, por ello, hacer algunas observaciones sobre el uso de estos dos instrumentos y, muy en particular, sobre las novedades que aparecen en el dorso de la *zarqāliyya*:

Los dos tipos de azafea tienen un inconveniente fundamental, al no disponer de una araña móvil como la lámina universal o el astrolabio convencional: carecen de un artilugio que simule el movimiento aparente de la esfera celeste en torno a la tierra y exigen, por ello, un esfuerzo de imaginación mucho mayor que el que se requiere con un instrumento esférico o con un astrolabio. Se trata de instrumentos con un carácter más «abstracto»: constituyen un

[119] R. Puig, «La proyección ortográfica en el Libro de la Açafeha alfonsí», *De Astronomia Alphonsi Regis*, Barcelona, 1987, 125-138.

[120] Cf. R. Puig, «Una aportación andalusí a la difusión del cuadrante de senos», *Yād-Nāma. In memoria di Alessandro Bausani* II (Roma, 1991), 75-85.

[121] Gracias a una información proporcionada por D. King a R. Puig tuve noticias de que el Science Museum de Londres había adquirido un astrolabio magribí del siglo XVIII (Inv. nº 1986-1190) en el que aparece el único ejemplar conservado de la regla transversal de Azarquiel que, hasta ahora, sólo conocíamos gracias a las ilustraciones de los códices alfonsíes. Cf. L.C.A. p. 234.

paso más en la evolución de los instrumentos que nos lleva desde la pura representación a escala del universo a algo semejante a una regla de cálculo. Si a esto añadimos que la *šakkāziyya* dispone, en la práctica, de una única red de coordenadas combinada con la regleta-horizonte se comprenderá fácilmente la dificultad de manejo del instrumento. Esta única red corresponderá, según los casos, a coordenadas ecuatoriales, eclípticas u horizontales y, en un número reducido de casos podremos obtener resultados por lectura directa sobre la faz de la azafea. En otros, en cambio, el proceso será más laborioso e implicará la operación básica consistente en empezar por determinar una posición utilizando la única red completa de coordenadas disponible y hacer girar, a continuación, esta posición, con ayuda de la regleta-horizonte, un ángulo equivalente a la colatitud del lugar (paso de coordenadas ecuatoriales a horizontales y viceversa) o a la oblicuidad de la eclíptica (coordenadas ecuatoriales a eclípticas y viceversa). Esta técnica se aplica contínuamente tanto en la *šakkāziyya* como en la *zarqāliyya* ya que, si bien esta última dispone de dos redes de coordenadas (ecuatoriales y eclípticas) carece de coordenadas horizontales, por lo que se tendrá que operar muchas veces de la misma manera.

Como hemos visto, Azarquiel critica, en el prólogo a su tratado sobre la azafea, el uso del astrolabio cuando no se dispone de una lámina que corresponda a la latitud del lugar, ya que esto fuerza a realizar cálculos de forma aproximada e insiste en la precisión que puede obtenerse con el nuevo instrumento. Pese a ello, es consciente del número limitado de meridianos y paralelos tanto eclípticos como ecuatoriales que puede representar en la faz de su azafea (recomienda trazarlos a intervalos de 5°), razón por la cual el usuario del instrumento se encontrará, fácilmente, en situaciones en las que el meridiano o paralelo con el que tenga que operar no se encuentre en el instrumento. Azarquiel intentará paliar esta falta de precisión recurriendo a una nueva red de coordenadas que ocupan, como hemos visto, las tres cuartas partes del círculo central del dorso de la azafea. Ahora bien la proyección no será, como he señalado antes, estereográfica meridiana sino ortográfica meridiana en la que los paralelos (trazados de 5° en 5°) serán líneas rectas y los meridianos -- que no pretenden representar meridianos igualmente espaciados en la esfera -- semielipses. Esta proyección no es, evidentemente, una invención atribuible a Azarquiel ya que la describe Ptolomeo en su *Analemma* y al-Bīrūnī parece haberla aplicado a usos astrolábicos en

su obra, aún inédita, *Kitāb fī istīᶜāb al-wuŷūh al-mumkina fī ṣanᶜat al-asṭurlāb*[122], lo que plantea, una vez más, el problema de los ecos de la obra de al-Bīrūnī en al-Andalus. De cualquier manera, Azarquiel combina, con extraordinaria habilidad, esta nueva red de coordenadas, que no identifica con ningún plano de referencia básico, con el par constituido por la alidada y la regla transversal, que se desliza sobre ella, y que le sirven como ejes principales de cualquier sistema de coordenadas o bien como eje polar (alidada) y paralelo perpendicular a él (transversal). El *modus operandi* resultante no difiere mucho del que se aplica en la faz del instrumento con la regleta-horizonte pero el sistema alidada-transversal tiene indudables ventajas. Pese a ello, Azarquiel sólo utiliza la proyección ortográfica del dorso en diez de los cien capítulos que componen su tratado de uso, bien de forma exclusiva o como alternativa al uso de la proyección estereográfica de la faz. Parece que es consciente del principal inconveniente que presenta el uso del dorso: el intervalo entre paralelos y meridianos es cada vez más estrecho conforme nos acercamos al límite de la proyección, lo que dificulta enormemente el trabajo en estas zonas del trazado[123].

Azarquiel no utiliza el par constituido por la alidada y la transversal exclusivamente en combinación con la proyección ortográfica del dorso, sino que lo aplica también, junto con el «círculo de la luna» para determinar la distancia Tierra-Luna en un momento determinado y calcular, a partir de ella, la paralaje lunar en el círculo de altura así como sus componentes en latitud y longitud. Este nuevo uso de la azafea, que resuelve un enigma que ha intrigado a los eruditos durante muchos años, ha sido analizado brillantemente por R. Puig en fecha muy reciente[124] y tiene el indudable interés de mostrar la combinación de influencias que resulta característica en la astronomía andalusí: el procedimiento aplicado por Azarquiel es claramente ptolemaico en el cálculo de la distancia lunar y de la paralaje horizontal, pero recurre a fórmulas de tradición india -- no siempre derivadas del *Sindhind* de al-Jwārizmī-- para el cálculo de la paralaje en el círculo de altura y de sus

[122] F.R. Maddison, «Hugo Helt and the Rojas Astrolabe Projection», *Agrupamento de Estudos de Cartografia Antiga* XII (Coimbra, 1966), 5-64 (cf. pp. 20-27).

[123] Sobre todo lo anterior cf. R. Puig, «La proyección ortográfica» ya cit.

[124] R. Puig, «Al-Zarqālluh's Graphical Method for Finding Lunar Distances», *Centaurus* 32 (1989), 294-309.

componentes en longitud y latitud. Es fácil de comprobar que los parámetros utilizados por Azarquiel son ptolemaicos: el radio inferior del dorso de la azafea, del que parten las perpendiculares del cuadrante de senos, está dividido en 60 partes (radio del deferente lunar ptolemaico, *R*). El centro del «círculo de la luna» coincide con la división décimotercera del radio contada a partir del centro de la lámina (13 es el resultado de redondear la excentricidad lunar ptolemaica de 12;30^p para R = 60^p). Finalmente, el radio del círculo es de 6 partes con lo que también aquí nos encontramos con un redondeo de las 6;20^p del radio del epiciclo lunar ptolemaico (para R = 60^p). Establecido esto, resulta demasiado complejo el seguir aquí el proceso de la resolución gráfica del problema de determinar la distancia Tierra-Luna pero quisiera señalar que se distinguen, en él, tres etapas. En la primera, en la que se pretende determinar la posición del centro del epiciclo lunar, el círculo interno del dorso de la azafea representará el deferente lunar, el centro de la lámina será el del deferente y el centro del «círculo de la Luna» el centro de la Tierra. La segunda etapa, en la que se trata de establecer la posición del apogeo medio del epiciclo lunar, choca con la dificultad de no disponer de un epiciclo lunar móvil que pueda desplazarse sobre el deferente y Azarquiel la resuelve con elegancia e ingenio al invertir los papeles del sector situado en torno al centro y al «círculo de la Luna», por una parte, y el círculo interno del dorso, por otra: el punto que, en la fase anterior, representaba el centro del epiciclo lunar será ahora el centro de la Tierra, mientras que el «círculo de la Luna» se habrá convertido en el epiciclo lunar. Bastará con representar en él, a partir de su apogeo medio, el valor de la anomalía media para tener la posición de la Luna en su epiciclo, con relación a la Tierra y, utilizando la escala gráfica de la regla transversal, podremos medir la distancia geocéntrica de la Luna.

3.3.3.3.4 En torno a la cronología relativa de los tres instrumentos universales.

Terminada esta descripción de las características y principales aplicaciones de los tres instrumentos universales, queda por discutir el problema espinoso de la cronología relativa de la lámina universal, *šakkāziyya* y *zarqāliyya*. Tradicionalmente se ha creido que el

descubridor del nuevo sistema de proyección estereográfica meridiana, o de su aplicación a un instrumento astrolábico universal, fue ᶜAlī b. Jalaf[125]. Esta hipótesis se basaba fundamentalmente en la consideración de Azarquiel como artesano fabricante de instrumental astronómico, que contrastaba con la imagen que, de sí mismo, da ᶜAlī b. Jalaf al señalar que ha estudiado el *Planisferio* de Ptolomeo y mencionar -- como hemos visto -- su intención de redactar una obra de carácter teórico sobre las distintas maneras de proyectar la esfera sobre un plano. Por otra parte, la lámina universal, que conserva una araña portátil parte de la cual es similar a la que aparece en los astrolabios, parece un instrumento más conservador y una fase intermedia entre el astrolabio convencional y la azafea. Siempre de acuerdo con esta hipótesis tradicional, Azarquiel debió partir de la lámina universal y, a lo largo de su vida, elaboró dos versiones de su instrumento que dedicó a al-Ma'mūn de Toledo (1043-1074) (azafea *ma'mūniyya*) y a al-Muᶜtamid b. ᶜAbbād de Sevilla (1069-1091) (azafea *ᶜabbādiyya*)[126]. El prólogo, tantas veces citado, del propio Azarquiel al tratado de uso nos proporciona otro dato ya que menciona que en el pasado él construyó otra azafea que no es tan perfecta como la que se describe a continuación[127]. Puede, por tanto, formularse la hipótesis que identifica azafea *ma'mūniyya* con *šakkāziyya*, ya que la identificación de *zarqāliyya* con *ᶜabbādiyya* parece obvia, dada la dedicatoria. Esta hipótesis puede adquirir una cierta confirmación dado el probable origen toledano de la *šakkāziyya*, que parece derivar del nombre de oficio *šakkāz* (curtidor de pieles) que puede relacionarse con la existencia, en Toledo, de un barrio de los *šakkāzīn*.

En 1979 D. King proporcionó nuevas evidencias en torno al problema de la cronología de estos instrumentos[128], de las que la más significativa es, sin duda, la que proporciona el ms. Leiden 468, que contiene el *Kanz al-yawāqīt* un tratado de *mīqāt* escrito por un autor egipcio anónimo, pero de familia conocida, de principios del siglo XIV, personaje que estaba muy interesado por la astronomía andalusí. Este tratado contiene, entre otros materiales, una historia

[125] Millás, *Azarquiel* pp. 425 y ss.

[126] Rico, *Libros* III, 135.

[127] B.N. París 4824 fol. 10r; Rico, *Libros* III, 150.

[128] D. King, «On the Early History» pp. 250-255.

general de la ciencia que es, esencialmente, un *resumen* de las *Ṭabaqāt* de Ṣāᶜid al que se añaden materiales de otras procedencias. En lo que aquí nos afecta, este *muwaqqit* anónimo nos señala que Azarquiel inventó la *zarqāliyya* y escribió sobre su uso un tratado en cien capítulos en el año 440/1048-49, mientras que ᶜAlī b. Jalaf elaboró un instrumento para al-Ma'mūn de Toledo -- al que denomina *Ḏū-l-Maŷdayn* Abū-l-Ḥasan Yaḥyà b. Ḏī-l-Nūn -- en el año 464/1071-72 y denominó a su lámina *al-asṭurlāb al-ma'mūnī*. Dar crédito o no a este pasaje del *muwaqqit* egipcio implica, en mi opinión, valorar su desconocida fuente y existe un detalle que me mueve a aceptar su testimonio: no sólo cita de forma absolutamente correcta el nombre de al-Ma'mūn sino que le da el *laqab* honorífico de Ḏū-l-Maŷdayn (el de las dos glorias)[129] cuyo conocimiento, poco común, hace pensar en una fuente próxima a los acontecimientos y bien informada. Por otra parte, el propio Azarquiel, en el prólogo a su tratado sobre la construcción de la *zarqāliyya*, dedica el instrumento a Abū-l-Qāsim Muḥammad b. ᶜAbbād al que denomina con el título honorífico de al-Mu'ayyad bi-Naṣr Allāh[130], o sea el título que adoptó al-Muᶜtamid desde su nacimiento en 1040 hasta que fue nombrado príncipe heredero en el año 1058, momento en el que asume el título de al-Ẓāfir bi-Ḥawl Allāh. Todo esto nos lleva a aceptar una datación muy temprana de la azafea *zarqāliyya/ᶜabbādiyya* que habría sido dedicada, en 1048-49 a un príncipe sevillano que sólo contaba 8 o 9 años e implica que Azarquiel preparó con mucho tiempo su traslado de Toledo a Sevilla[131]. ᶜAlī b. Jalaf habría construido su lámina universal mucho más tarde, en 1071-72, y se la habría dedicado a al-Ma'mūn poco antes de la muerte de éste (1074). Todo esto se ajusta bastante bien con el colofón del tratado sobre la *zarqāliyya* contenido en el manuscrito 962 de El Escorial, citado también por King. El texto, corrupto y difícil de interpretar, parece ser el resultado de dos adiciones debidas al copista y a una mano posterior[132] y en él se señala que Azarquiel «construyó [la azafea *zarqāliyya*] finalmente,

[129] Encuentro documentado este *laqab* honorífico en Ibn Bassām, *al-Ḏajīra fī maḥāsin ahl al-ĵazīra*, ed. Iḥsān ᶜAbbās (Beirut, 1978) II, 578.

[130] Ms. B.N. París 4824, fol. 1v.

[131] Esto no excluye una posible puesta al día posterior del tratado sobre la *zarqāliyya* ya que este texto menciona una longitud del apogeo solar de 86°, que coincide con los 85;49° que Azarquiel debió establecer en 1074-75 (§ 3.3.4).

[132] R. Puig, *Los Tratados de Construcción y Uso* pp. 103 y 111 (n. 320).

tras una polémica con Abū-l-Šaŷŷār [i.e. ᶜAlī b. Jalaf] acerca de la primera y, por último, [Ibn Jalaf?] la utilizó». La segunda mano que interviene en el colofón señala que [Ibn Jalaf] añadió una red (*šabaka*) al instrumento de Azarquiel.

De lo expuesto hasta ahora puede deducirse que la azafea *zarqāliyya/ᶜabbādiyya* fue diseñada hacia 1048 y dedicada a al-Muᶜtamid niño, y que la lámina universal es posterior (1071-72). Por otra parte existió una versión anterior de la *zarqāliyya* que fue objeto de una polémica con ᶜAlī b. Jalaf y, posiblemente, existió también (recordemos que la única autoridad que lo menciona es el texto alfonsí) una azafea *ma'mūniyya*, a lo que hay que añadir que disponemos de un tratado en 60 capítulos que describe el uso de la azafea llamada *šakkāziyya*. No habría nada que objetar a la identificación de los tres instrumentos mencionados (la *šakkāziyya* podría haberse diseñado para al-Ma'mūn entre 1043 -- fecha de su acceso al trono de Toledo -- y 1048) a no ser por el testimonio de D. King el cual señala que algunas versiones del tratado en 60 capítulos están dedicadas a al-Muᶜtamid[133]. De confirmarse este dato tendríamos dos instrumentos que podrían calificarse de azafea *ᶜabbādiyya* y ninguna azafea *ma'mūniyya*. Esto coincidiría con la opinión de Millás[134] quien creía que no existió jamás un texto que describiera la azafea *ma'mūniyya*. Esta correspondería, probablemente, a la versión primitiva, perdida totalmente, del instrumento que Azarquiel habría construido para el monarca toledano y que habría sido objeto de las críticas de ᶜAlī b. Jalaf. *Zarqāliyya* y *Šakkāziyya* serían instrumentos posteriores dedicados, ambos, a al-Muᶜtamid.

3.3.3.4 *Ecuatorio*

El último de los usos de la azafea *zarqāliyya* que he mencionado más arriba — la aplicación del «círculo de la luna» a la determinación de la distancia Luna-Tierra -- constituye un procedimiento que parece enlazar con la tradición de los ecuatorios que, como hemos visto (§ 2.5.2.4), se inicia con Ibn al-Samḥ. Azarquiel es asimismo el autor de un nuevo instrumento de esta índole sobre el que escribió dos pequeños tratados: uno sobre la construcción, que sólo conoce-

[133] King, «On the Early History» p. 253.

[134] Millás, *Azarquiel* p. 437.

mos a través de la traducción alfonsí[135], y otro sobre su uso del que conservamos el texto árabe, editado y traducido por M. Comes[136]. Este último, en el que se menciona el año 474/1081-82, está dedicado a al-Muᶜtamid de Sevilla al que, en esta ocasión, se le da el título regio de *al-Muᶜtamid ᶜalà Allāh*, que adoptó a partir de su acceso al trono en el año 461/1069. El texto alfonsí, en cambio, menciona el año 473/1080-81: no es imposible, dada la existencia de alguna mínima divergencia entre los instrumentos descritos en los dos textos, que se trate de dos tratados escritos en dos años sucesivos[137].

El tratado sobre el uso del instrumento, al que denomina *al-ṣafīḥa al-zīŷiyya* (o sea lámina que cumple la función de un *zīŷ*), menciona la existencia de un precedente de índole similar en lo que puede verse una alusión al ecuatorio de Ibn al-Samḥ. De hecho ambos instrumentos tienen un fundamento análogo. A cada planeta le corresponde un sistema de dos círculos concéntricos, denominados por el texto alfonsí *leuador* (*al-falak al-ḥāmil*) y *çerco dell alaux* (*falak al-awŷ*), cuyo centro es el del deferente del planeta. Ambos círculos están divididos de forma desigual ya que, con centro en el centro del ecuante, se traza un círculo oculto -- *çerco dell yguador* -- que se divide en 360 partes iguales proyectándose, a continuación, estas divisiones sobre el *leuador* y el *çerco dell alaux* al trazar rectas que pasen por el centro del ecuante y por cada una de las divisiones del *çerco dell yguador* e intersecten tanto al *leuador* como al *çerco dell alaux*. El funcionamiento del instrumento será, evidentemente, idéntico al del ecuatorio de Ibn al-Samḥ: al colocar la lámina de los epiciclos de tal modo que su centro coincida con la graduación del *leuador* correspondiente a la longitud media del planeta a partir del apogeo y el índice que se encuentra en la lámina de los epiciclos coincida con la misma graduación en el *çerco dell alaux*, tendremos el centro del epiciclo planetario correctamente

[135] Rico, *Libros* III, 272-284. Véase la traducción florentina del S. XIV del texto alfonsí en M. Comes, *Ecuatorios andalusíes. Ibn al-Samḥ, al-Zarqāllu y Abū-l-Ṣalt*, Barcelona, 1991, pp. 189-202.

[136] Comes, *Ecuatorios andalusíes* pp. 203-236; Millás, *Azarquiel* pp. 460-479.

[137] Sobre este instrumento véase fundamentalmente M. Comes, *Ecuatorios andalusíes* pp. 79-138. Cf. también D.J. Price, *The Equatorie of the Planetys*. Cambridge, Mass., 1955, pp. 120-122; E. Poulle, *Les instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogérie planétaire du XIII^e au XVI^e siècle*, 2 vols., Ginebra-París, 1980, I, 197-200.

situado. La posición del planeta en su epiciclo se establecerá tomando la anomalía media del planeta en la graduación del epiciclo a partir del índice. Finalmente, una alidada que parta del centro del instrumento (centro del universo) y pase por la posición que ocupa el planeta en su epiciclo nos determinará sobre el círculo externo de la lámina (eclíptica) la longitud verdadera del planeta.

Hasta aquí no hemos visto ninguna novedad con relación al instrumento de Ibn al-Samḥ y sólo hay que señalar que éste, como hemos visto, es un ecuatorio-astrolabio que utiliza una lámina distinta por planeta, mientras que en el instrumento descrito por Azarquiel no aparece alusión alguna que permita conjeturar que forma parte de un astrolabio. Por otra parte Azarquiel, en su tratado de construcción, se muestra interesado en diseñar un instrumento que pueda funcionar con un número reducido de láminas y, con esta finalidad, concentra los trazados correspondientes al *leuador* y *çerco dell alaux* de todos los planetas en dos caras de una única lámina, lo que le obliga a utilizar distintas escalas para cada planeta. En la primera cara aparecen los círculos en el siguiente orden (desde el centro hasta la periferia del instrumento. Cf. Fig. 24):

- Deferentes de Venus, Marte, Júpiter y Saturno.
- *Çercos dell alaux* de Venus, Marte, Júpiter y Saturno.
- Eclíptica.

La lámina está trazada de tal manera que la diferencia de radios del deferente y *çerco dell alaux* de cada planeta sea igual al radio del epiciclo de Marte, ya que este planeta es el que tiene un epiciclo con mayor radio en la lámina de los epiciclos, seguido por Venus, Mercurio, Júpiter, Saturno y Luna.

La segunda cara de la lámina de los deferentes es la que presenta una mayor originalidad ya que en ella se encuentran, a partir del centro (cf. Fig. 25):

- Deferentes de Mercurio y Luna.
- *Çercos dell alaux* de la Luna y Mercurio.
- Excéntrica solar.

La disposición anterior es la descrita en el tratado de construcción mientras que el tratado de uso atribuye una lámina específica a la Luna sin justificar de forma clara su necesidad. No tiene esto mayor trascendencia al contrario de lo que sucede con el trazado, extraordinariamente original por parte de Azarquiel, del modelo de Mercurio. En efecto, en los ecuatorios, el planeta Mercurio suele requerir un tratamiento especial ya que su deferente no es un

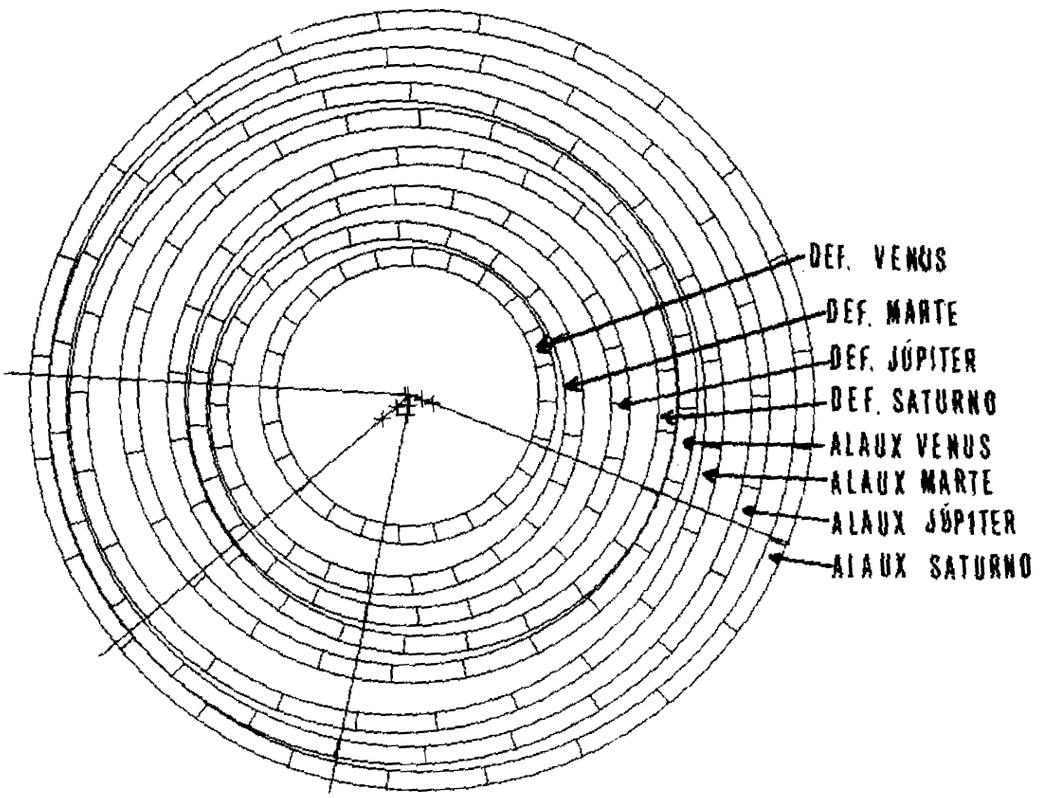


Fig. 24
Faz del ecuatorio de Azarquiel según M. Comes y H. Mielgo.

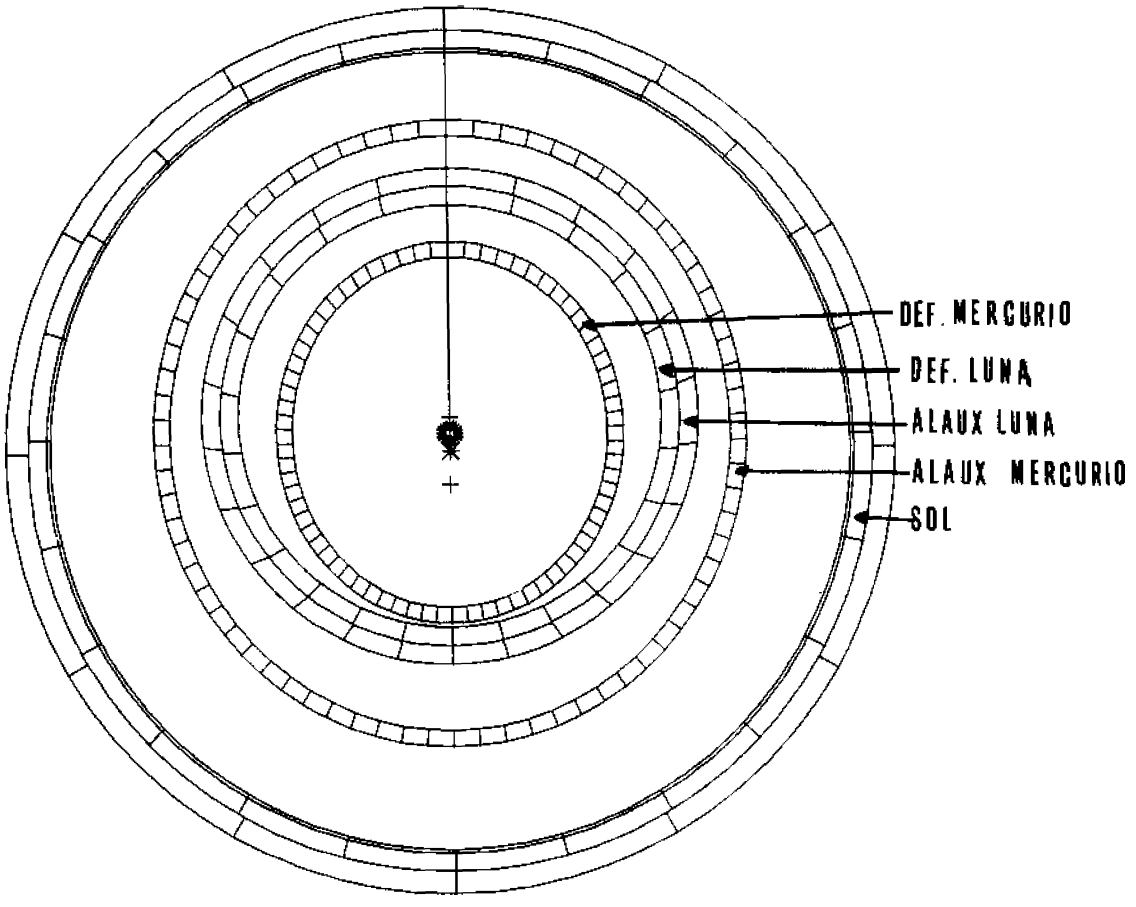


Fig. 25
Dorso del ecuatorio de Azarquiel según M. Comes y H. Mielgo.

círculo sino el resultado de la combinación de dos movimientos circulares. En efecto, simplificando mucho, en el modelo cinemático ptolemaico el centro del epiciclo de Mercurio se desplaza sobre un círculo cuyo centro describe, a su vez, otro pequeño círculo. W. Hartner[138] ha demostrado que la resultante de la combinación de estos dos movimientos es una curva en forma de pera cuando la razón entre el radio del epiciclo (*R*) y la excentricidad (*e*) es pequeña. En el caso de Mercurio *R/e* = 2Q si utilizamos parámetros ptolemaicos y la curva resultante es, prácticamente, una elipse. Azarquiel parece perfectamente consciente de este hecho y da instrucciones cuidadosas para trazar aproximaciones tanto al deferente de Mercurio como a su *çerco dell alaux* que no son círculos sino curvas no circulares cerradas que, en el tratado de uso, denomina ovaladas (*bayḍī*), mientras que en la versión alfonsí del tratado de construcción habla de una *figura pinnonada*. Sospecho que, en este último caso, Azarquiel está utilizando un término técnico preciso ya que, en árabe, el término *ṣanawbar* (piña) puede designar el cono[139] y es muy posible que *pinnonada* fuera una mala traducción alfonsí de *ṣanawbarī* (cónico). Azarquiel habría identificado, pues, el deferente de Mercurio con una de las secciones cónicas, aunque sin precisar que se trataba de una elipse[140].

La astronomía antigua y medieval es una astronomía de círculos y una de las grandes aportaciones de Kepler en el siglo XVII fue concebir una astronomía de elipses. No faltan antecedentes curiosos a esta concepción de los movimientos celestes basados en curvas no circulares. El más antiguo es, quizás, el diagrama que aparece en el manuscrito Reichenau 167 (que contiene las obras científicas de Beda), en el que aparece el giro de Mercurio y Venus en torno al Sol de acuerdo con el sistema de Heráclides: en él, mientras la

[138] W. Hartner, «The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel of Venice. A Study in the History of Renaissance Astrology and Astronomy», *Oriens-Occidens*, Hildesheim, 1968, 440-495. Cf. también A. Wegener, «Die astronomischen Werke Alfons X». *Bibliotheca Mathematica* 3 Folge, 6 Band (Leipzig, 1905), 129-185 (especialmente pp. 156-161).

[139] M. Souissi, *La langue des mathématiques en arabe*, Túnez, 1968, p. 221.

[140] La traducción latina, alfonsí o derivada de una traducción castellana alfonsí, del *Fī hay'at al-ᶜālam* de Ibn al-Haytam utiliza las expresiones *figura pinee*, *figura pineata* y *pineatum* para traducir "figura cónica" o "cono". Todo ello a pesar de que el original árabe no emplea *ṣanawbar* ni *ṣanawbarī* sino el término más usual *majrūṭ* (cono). Cf. J. Samsó, «El original árabe y la versión alfonsí del *Kitāb fī hay'at al-ᶜālam* de Ibn al-Haytam», O.E.Y.A.F., pp. 124-126.

órbita de Mercurio es circular, la de Venus resulta ovalada[141]. Cronológicamente, el caso de Azarquiel es el siguiente por más que convenga insistir aquí en que no se trata de la órbita sino sólo del deferente de Mercurio el que aparece representado como una aproximación a una curva ovalada o a una elipse y en que lo único que hace Azarquiel es representar gráficamente, por razones de índole práctica, lo que ya se encontraba implícito en el modelo ptolemaico. Este ecuatorio de Azarquiel debió ser conocido en Oriente ya que, en el siglo XV, al-Kāšī describe un instrumento muy similar al del astrónomo toledano y traza en él, de forma menos precisa que Azarquiel, un óvalo para el deferente de Mercurio[142]. Por otra parte, la aproximación de Azarquiel debió ser conocida, asimismo, en Europa a partir del siglo XV: Georg Peurbach (1423-1461) es el primer autor europeo que reconoce la forma ovalada del deferente de Mercurio en la teoría ptolemaica y será seguido por Erasmus Reinhold (1511-1543) no sólo para Mercurio sino también para la Luna[143].

Antes de terminar con el análisis del ecuatorio de Azarquiel conviene decir algo sobre sus parámetros. En primer lugar, el texto alfonsí nos da una doble serie de longitudes de los apogeos planetarios -- trópicas y sidéreas -- entre las cuales debiera existir -- no siempre es el caso -- una diferencia, debida a la precesión, que el propio Azarquiel estima en 7;18°. E. Millás[144] ha sugerido que esta cifra pudo ser calculada con las tablas de trepidación que se encuentran en las *Tablas de Toledo* y en el *Liber de motu* (§ 3.3.6.2) si asumimos que se trata de 7;13° en lugar de 7;18°, dada la facilidad con que se confunden el 3 y el 8 en la notación alfanumérica árabe; recientemente M. Comes ha señalado que se obtienen mejores resultados utilizando la segunda variante del primer modelo de

[141] Ch. W. Jones, «A Note on Concepts of the Inferior Planets in the Early Middle Ages», *Isis* 24 (1935-36), 397-399.

[142] E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshīd Giyāth al-Dīn al-Kāshī (d. 1429)*, Princeton, 1960; id., «A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kāshī's "Ṭabaq al-Manāṭeq". II. Longitudes, Distances and Equations of the Planets», *Isis* 43 (1952), 42-50. Reimpreso en S.I.E.S. pp. 472-480. Es posible que al-Kāšī hubiese sido precedido en este trazado aproximado del óvalo de Mercurio por Abū-l-Ṣalt de Denia (§ 5.2.1): cf. M. Comes, *Ecuatorios andalusíes* pp. 149-150.

[143] Hartner, «Mercury Horoscope» pp. 465, 478, 488-490.

[144] E. Millás, «Las posiciones de los apogeos planetarios en el ecuatorio de Azarquiel», N.E.A.E.S.A.X., 119-123.

trepidación expuesto por el propio Azarquiel en su libro sobre las *Estrellas Fijas* (§ 3.3.6.3.2)[145]. Por otra parte el texto árabe nos da también las posiciones (¿trópicas?) de los apogeos por más que los valores aparezcan aquí, en la mayor parte de los casos, claramente corruptos. Una valoración de estos materiales y de los que se encuentran en las *Tablas de Toledo* resulta, de momento, prematura.

Conviene considerar, asimismo, los parámetros zarqālíes para los radios de los epiciclos y las excentricidades planetarias[146]. Los primeros coinciden aproximadamente con los del *Almagesto* aunque aparecen pequeños ajustes difíciles de justificar: este es el caso de los radios de los epiciclos de Júpiter (11;26,11P, en lugar de 11;30P del *Almagesto*), Marte (38;53,53P frente a 39;30P de Ptolomeo) y Venus (42;2,57P, en vez de 43;10P en el *Almagesto*). En lo que respecta a las excentricidades, las de Júpiter (2;46,4P, *Alm.* 2;45P), Marte (6P, id. *Alm.*) y la Luna (10;19,14P)[147] son claramente ptolemaicas, mientras que las de Saturno (el texto alfonsí documenta 2;51,23P y 2;48,48P, *Alm.* 3;25P), Venus (1;3,26P, *Alm.* 1;15P) y Mercurio (2;51,26P, *Alm.* 3P) parecen originales. El caso de Mercurio fue estudiado por W. Hartner[148] quien subrayó una posible conexión entre este nuevo parámetro zarqālí y las correcciones introducidas por Ptolomeo, en sus *Hipótesis Planetarias*, en los valores de la excentricidad (2;30P) y del radio del epiciclo (22;15P en lugar de los 22;30P del *Almagesto*) de Mercurio. Azarquiel no utiliza una excentricidad de 2;30P sino de 2;51,26P pero mantiene el mismo radio del epiciclo que el *Almagesto* con lo que obtiene, en parte, resultados similares a los de Ptolomeo en sus *Hipótesis*. Parece claro, por otra parte, que el nuevo parámetro zarqālī fue conocido por Copérnico e influyó en el *Commentariolus* en donde se utiliza una excentricidad

[145] M. Comes, *Ecuatorios andalusíes* pp. 88-93.

[146] Todos los valores que mencionaré a continuación están *normados* para un radio del deferente de cada planeta de 60P. Cf. M. Comes, *Ecuatorios andalusíes* pp. 93-124.

[147] Este es el valor que se obtiene para un radio del deferente de 60P. Obsérvese que se trata de una confusión atribuible, probablemente, a Azarquiel y que éste no cometió en el círculo de la Luna de la azafea. En efecto, 10;19P es el parámetro que da Ptolomeo en el *Almagesto* para un radio del deferente lunar de 49;41P. En cambio, en la *Inscripción canóbica* y las *Hipótesis Planetarias* e=12;30P para R=60P. Cf. M. Comes, *Ecuatorios andalusíes* pp. 114-115.

[148] W. Hartner, «Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shāṭir and Copernicus on Mercury. A Study of Parameters», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 17 (1977), 97-118.

casi idéntica a la de Azarquiel. Finalmente, la excentricidad de Venus (1;3,26^p) parece encontrarse en la línea de las modificaciones de los parámetros ptolemaicos que llevaron a cabo los astrónomos musulmanes: Yaḥyà b. Abī Manṣūr (c. 830) da una excentricidad de 1;1,48^p, Ibn Yūnus 1;3,5^p y al-Bīrūnī 1;2,30^p. Encontramos también parámetros muy próximos a los de Azarquiel en autores posteriores como Ibn al-Šāṭir (1;3,30^p) y al-Kāšī (1;3^p) en su tratado sobre el ecuatorio que, como hemos visto, estaba probablemente influido por el de Azarquiel[149].

El tratado sobre el ecuatorio es, probablemente, una obra menor dentro de la bibliografía de Azarquiel. Ahora bien pese a que, como hemos visto, el diseño del instrumento depende estrechamente del del ecuatorio de Ibn al-Samḥ, presenta, no obstante, la importantísima novedad de la curva que corresponde al deferente de Mercurio. Por otra parte, la obra tiene el interés de proporcionarnos nuevos materiales planetarios zarqālíes, un capítulo sobre el que apenas sabemos nada si exceptuamos las *Tablas de Toledo*. Estos materiales adquieren un especial valor si se considera que el tratado sobre el ecuatorio aparece como un texto tardío dentro de la vida de Azarquiel (posterior a 1080-81), por lo que podemos deducir que en él se concentra el posible trabajo sobre los planetas que llevó a cabo el astrónomo toledano durante una buena parte de su vida. Algo similar sucede con los materiales solares, que he omitido por ocuparme de ellos en § 3.3.4, que aparecen también en el tratado sobre el ecuatorio: una máxima ecuación del sol algo superior a 1;52,30° coincide, como veremos, con lo que se deduce de las restantes fuentes que están a nuestra disposición[150].

3.3.4 INVESTIGACIONES SOLARES.

La astronomía árabo-islámica se ha caracterizado siempre por el interés que ha prestado al estudio del sol: disponemos, posiblemente, de más información sobre observaciones solares que sobre observaciones del resto de los cuerpos celestes. La astronomía andalusí, por

[149] Sobre los parámetros anteriores cf. J. Samsó, «Alfonso X and Arabic Astronomy», *De Astronomia Alphonsi Regis*, Barcelona, 1987, pp. 25-26.

[150] J. Samsó, «Al-Zarqāl, Alfonso X and Peter of Aragon on the Solar Equation», *From Deferent to Equant*, 467-476.

su parte, ha participado en esta tendencia general gracias, sobre todo, a la labor de Azarquiel el cual escribió un libro, titulado probablemente *Fī sanat al-šams* («Sobre el año solar»)[151] que no hemos conservado pero cuyo contenido ha sido reconstruido cuidadosamente por Toomer[152] a partir de fuentes secundarias que son, sustancialmente y por orden cronológico:

- El testimonio del propio Azarquiel en su tratado sobre el movimiento de las estrellas fijas (cf. *infra* § 3.3.6.3).
- Las tablas astronómicas de Ibn al-Kammād (§ 5.2.3) que fue, probablemente su discípulo y debió vivir a fines del s. XI y principios del XII.
- El «Libro de los Fundamentos de las tablas astronómicas» de R. Abraham b. ᶜEzra (c. 1090-c. 1164-67).
- El *Ŷāmiᶜ al-mabādiʾ wa-l-gāyāt* de Abū-l-Ḥasan ᶜAlī al-Marrākušī (s. XIII).
- El *Tractatus super totam astrologiam* del franciscano Bernardo de Virduno, que debió escribirlo a fines del siglo XIII.
- El *Epitome al Almagesto* de Regiomontano (1436-c. 1476).
- Los ecos de esta última obra en el *De revolutionibus* de Copérnico.

A esta lista de fuentes estudiadas por Toomer debe añadirse:

- El *al-Zīŷ al-kāmil fī-l-taᶜālīm* de Ibn al-Hā'im (fl. 1205)

[151] Me baso, fundamentalmente, en el testimonio del propio Azarquiel el cual, en su tratado sobre la construcción del ecuatorio, menciona «el libro que yo fiz. que fabla en ell anno del sol» (Rico, *Libros* III, 273). Cf. también Millás, *Azarquiel* p. 242 en donde aparece una cita de Abraham b. ᶜEzra: «Dicit Azarchel in *libro de anno solari*». Otra alternativa es la propuesta por G.J. Toomer, («The Solar Theory of az-Zarqāl. A History of Errors», *Centaurus* 14 (1969), 315-316), quien sugiere *Al-risāla al-ŷāmiᶜa fī-l-šams*, de acuerdo con Millás, que habla de la «Suma relativa al sol».

[152] G.J. Toomer, «The Solar Theory of az-Zarqāl. A History of Errors», *Centaurus* 14 (1969), 306-336, y «The Solar Theory of Az-Zarqāl: An Epilogue», *From Deferent to Equant*, pp. 513-519. Cf. también J. Samsó, «Al-Zarqāl, Alfonso X and Peter of Aragon on the Solar Equation», *From Deferent to Equant*, pp. 467-476, y «Azarquiel e Ibn al-Bannā'», *Relaciones de la Península Ibérica con el Magreb (siglos XIII-XVI)*, Madrid, 1988, pp. 361-372. Se encuentra en curso de publicación un trabajo más extenso de J. Samsó y E. Millás, «Ibn Isḥāq, Ibn al-Bannā' and al-Zarqālluh's Solar Theory».

conservado en un manuscrito de la Biblioteca Bodleyana de Oxford (cf. § 5.2.3).

- El *zīŷ* del astrónomo tunecino Ibn Isḥāq (fl. a principios del s. XIII) descubierto por King en el manuscrito Hyderabad Andra Pradesh State Library 298.

- El *zīŷ* de Ibn al-Bannā' de Marrākuš (1256-1321) basado en el de Ibn Isḥāq.

La sorprendente difusión de esta obra perdida de Azarquiel por la Europa Latina hasta bien entrado el Renacimiento hace pensar a Toomer en la posibilidad de que hubiese sido objeto de una traducción latina, lo que constituye una esperanza suplementaria de que, alguna vez, podamos tener un conocimiento directo o indirecto del texto original. Por el momento, me veo limitado a resumir lo que puede deducirse de las fuentes secundarias antes mencionadas.

En primer lugar, el libro *Sobre el año solar* es una obra de madurez que debió componerse antes del año 473/1080-81 ya que ésta es la fecha que aparece como *annus praesens* en la versión alfonsí del tratado sobre la construcción del ecuatorio en el que, como hemos visto, se menciona la obra de Azarquiel de la que nos ocupamos ahora. Se trata de una obra que requirió, sin duda, observaciones previas a las que ya he aludido *supra* en § 3.3.2.1., pero desconocemos, por completo, los detalles acerca de las observaciones mismas y de los instrumentos utilizados que sólo podemos intuir gracias a las referencias que nos da el mismo Azarquiel en el prólogo a su tratado sobre la azafea (cf. *supra* § 3.3.3.1.). De cualquier modo, recordemos aquí las palabras del autor en *Estrellas Fijas* cuando nos señala que «verificamos constante y atentamente las observaciones del sol, de la luna y de las estrellas que nos era posible, valiéndonos de las personas que nos merecían confianza, por espacio de 25 años. Después de lo cual empecé a formar la *Suma relativa al sol*, de modo que con ella se me certificó toda su cuestión a medida de nuestras posibilidades»[153]. Si las observaciones se llevaron a cabo a lo largo de veinticinco años, debieron empezar bastante pronto[154] y, sin duda, se utilizaron para determinar el parámetro básico del movimiento medio del sol utilizado en las

[153] Millás, *Azarquiel* p. 279.

[154] Antes de la fecha mencionada por Abū-l-Ḥasan ᶜAlī al-Marrākušī quien señala que Azarquiel observaba en Toledo en 453/1061. Cf. Millás, *Azarquiel* p. 11.

Tablas de Toledo (c. 1069) parámetro que, como veremos, no se alteró en la versión definitiva de la teoría solar de Azarquiel. Por otra parte, el astrónomo toledano afirma, en *Estrellas Fijas*, que determinó la ecuación [del sol] en el año 467/1074-75[155] y esto coincide con el testimonio de Isḥaq Israelí según el cual Azarquiel describía, en su libro sobre el sol, una cuidadosa observación del equinoccio de otoño del año 468/ Septiembre 1075[156]. Esta debió ser la época crucial de las observaciones que le llevaron a determinar los parámetros de su modelo solar: en ellas, según nos informa Bernardo de Virduno -- que, sin duda, había leido el libro de Azarquiel sobre el sol -- no utilizó el método ptolemaico, basado en determinar el paso del sol por los equinoccios y solsticios sino que adoptó el procedimiento elaborado en el año 830 por los astrónomos de al-Ma'mūn en el observatorio de al-Šammāsiyya de Bagdad: observar el paso del sol por los puntos medios situados entre los equinoccios y los solsticios (Tauro 15°, Leo 15°, Scorpio 15° y Acuario 15°). Este procedimiento suponía una mejora metodológica dado que el método ptolemaico planteaba la dificultad práctica de determinar exactamente el momento de los solsticios ya que, en ellos, la variación de la declinación solar alcanza un mínimo. El método *ma'mūnī* aparece, pues, documentado por primera vez en al-Andalus y fue, de nuevo, utilizado en el siglo XIII por los astrónomos alfonsíes[157].

155 Millás, *Azarquiel* p. 296.

156 Toomer, «History of Errors» p. 334 n. 71. El *zīǧ* de Ibn Isḥāq (ms. Hyderabad Andra Pradesh State Library 298) contiene una curiosísima tabla (nº 5) con información acerca de presuntas observaciones históricas de la longitud del apogeo solar y la oblicuidad de la eclíptica. Toda la tabla ha sido, probablemente, calculada aunque no acierto a establecer cómo. Esta tabla atribuye a Azarquiel unas observaciones realizadas en el 467/1074-75 en las que habría determinado una longitud del apogeo de 77;31,21° y una oblicuidad de 23;32,31°. Ambos parámetros contradicen todo lo que conocemos a partir de otras fuentes pero la fecha es significativa de la época en la que, efectivamente, Azarquiel debió realizar las observaciones definitivas que le permitieron fijar los parámetros de su modelo solar. Cf. sobre esta tabla M. Comes, «A propos de l'influence d'al-Zarqālluh en Afrique du Nord: l'apogée solaire et l'obliquité de l'écliptique dans le *zīǧ* d'Ibn Isḥāq». Comunicación presentada al "II Coloquio Hispano-Marroquí de Ciencias Históricas. Historia, Ciencia y Sociedad" (Granada, Noviembre de 1989), en curso de publicación.

157 J. Samsó, «On the Solar Model and the Precession of Equinoxes in the Alphonsine Zīj and its Arabic Sources», *History of Oriental Astronomy. Proceedings of an International Astronomical Union Colloquium No. 91*, Cambridge, 1987,

El libro de Azarquiel debió, pues, escribirse entre 1075 y 1080 y los veinticinco años de observaciones solares debieron empezar entre 1050 y 1055. El primer resultado importante que Azarquiel obtuvo fue descubrir el movimiento propio del apogeo solar: frente a la convicción ptolemaica de que el apogeo solar permanecía inmóvil, las observaciones solares llevadas a cabo en los años 829 y 831 dieron lugar a una estimación de la longitud del apogeo de 82;39° y 82;45° respectivamente. La comparación de estos resultados con la posición obtenida por Hiparco y Ptolomeo (65;30°) trajo consigo la destrucción del dogma ptolemaico de la inmovilidad del apogeo solar: se concluyó que el movimiento del apogeo era de 1° en 66 años, parámetro idéntico al estimado por los mismos astrónomos para la precesión de los equinoccios. De ahí que la convicción general de la astronomía islámica fuera de que el apogeo solar, al igual que los apogeos planetarios, estaba fijo sidéreamente, es decir que apuntaba siempre a la misma estrella, moviéndose lentamente con ésta en función de la precesión[158].

Azarquiel determinó, en sus observaciones de 1074-75, la longitud del apogeo solar en 85;49°, de acuerdo con el testimonio de Bernardo de Virduno confirmado por Ibn al-Hā'im[159] cuyo testimonio ratifica de manera absoluta la intuición de Toomer quien cree que Bernardo de Virduno disponía de una fuente de primera calidad. Este valor se ajusta muy bien al resto de la evidencia que puede espigarse en otras obras de Azarquiel: el tratado alfonsí sobre la construcción del ecuatorio[160] nos da, para Venus -- planeta cuyo apogeo suele coincidir con el del sol en la astronomía islámica[161] --, un apogeo situado a 85;50°, mientras que el tratado de la azafea redondea este valor en 86°[162]. Por otra parte el tratado zarqālí

pp. 175-183.

158 W. Hartner y M. Schramm, «Al-Bīrūnī and the Theory of the Solar Apogee: an Example of Originality in Arabic Science», *Scientific Change* (ed. by A.C. Crombie), Londres, 1963, pp. 206-218 (cf. especialmente pp. 208-209).

159 Bodleian Library II,2 ms. 285 (Marsh 618) fol. 5v.

160 M. Comes, *Ecuatorios andalusíes* p. 88.

161 B.R. Goldstein, «Remarks on Ptolemy's Equant Model in Islamic Astronomy», *Prismata. Festschrift für Willy Hartner*, Wiesbaden, 1977, pp. 165-181.

162 Este valor plantea problemas cronológicos ya que aparece en el tratado de construcción de la azafea *zarqāliyya* (ms. B.N. París 4824 fol. 15r; Rico, *Libros* III, 141) que, según hemos visto (cf. *supra* 3.3.3.5) parece que debe fecharse en 440/1048-49. Si aceptamos que la determinación de la longitud del apogeo se llevó

sobre las *Estrellas Fijas* nos proporciona algunos datos sobre el desplazamiento del apogeo solar de acuerdo con las determinaciones de su longitud sidérea desde la época de Hiparco:

Observadores	*Años transcurridos*	*Desplazamiento*
Hiparco-Ṯābit	977	3;30°
Ptolomeo-Ṯābit	692	2;28°
Ṯābit-Battānī	52	0;11°
Ṯābit-Azarquiel	243	0;53°

En las cifras anteriores parece lógico tomar los períodos de tiempo más largos y comprobar con qué velocidad se ha desplazado el apogeo solar entre Hiparco y Azarquiel y entre Ptolomeo y Azarquiel. En el primer caso obtendremos 0;0,12,56,3,56°/ año o bien 1° en 278.33 años, mientras que, en el segundo, la velocidad obtenida es de 0;0,12,43,54,13°/ año a lo que corresponde 1° en 279.10 años. No es de extrañar, por ello, que Azarquiel dedujera que el apogeo solar, sometido sin duda al desplazamiento propio de la precesión de los equinoccios, tenía además un movimiento propio de 1° cada 279 años, por lo que se desplazaba con mayor rapidez que las estrellas fijas. Este movimiento propio del apogeo solar aparece reflejado en las correspondientes tablas de movimiento medio del *zīŷ* de Ibn Isḥāq y del de Ibn al-Bannā', que se basan en un desplazamiento diario de 0;0,0,2,7,10,44,25,2,10,22°. Resulta curioso señalar que el parámetro de Azarquiel fue corregido por su discípulo Ibn al-Kammād quien estima que el desplazamiento del apogeo solar es de 1° en 290 años (0;0,0,2,2,14° diarios) mientras que, en el siglo XIII, Abū-l-Ḥasan ʿAlī al-Marrākušī atribuye a Azarquiel un movimiento del apogeo de 1° en 299 años., sin duda debido a un error en la transmisión textual del parámetro.

Las observaciones solares de Azarquiel dieron lugar también a una nueva estimación de la duración del año sidéreo, que no varió sustancialmente con relación al cálculo previo realizado con vistas a

a cabo antes de esta fecha, resultará difícil de entender por qué, en las *Tablas de Toledo*, la longitud *sidérea* del sol para el principio de la Hégira es sólo de 77;50° (parámetro que parece derivar de los 77;55° del *Sindhind* de al-Jwārizmī-Maslama), al que corresponde una longitud *trópica* de 84;58° para el año 1075, casi 1° por debajo de lo que cabría esperar. No puedo resolver este problema, por el momento, y sólo cabe suponer que el propio Azarquiel o alguien después de él pudo corregir la longitud del apogeo en el tratado sobre la construcción de la azafea.

la elaboración de las tablas sidéreas de movimiento medio del sol de las *Tablas de Toledo*, tal como puede comprobarse al comparar el parámetro del movimiento medio diario deducido de estas tablas por Toomer con los que se obtienen a partir de las tablas de Ibn Isḥāq e Ibn al-Bannā', y con el que se desprende de una tabla de la *revolutio anni* (92;24°) que Ibn al-Kammād atribuye explícitamente a Azarquiel:

T. Toledo:	0;59,8,11,28,27°
Ibn Isḥāq/Ibn al-Bannā':	0;59,8,11,28,26,24°
Ibn al-Kammād = Azarquiel:	0;59,8,11,28,25°

A este valor del movimiento medio diario le corresponde una longitud del año sidéreo de 6,5;15,24 días que es el parámetro básico utilizado por Azarquiel[163] para regular el desplazamiento del sol ya que es partidario de una precesión variable (cf. *infra* 3.3.6), razón por la cual su año trópico no es constante. Resulta interesante señalar, siguiendo a Toomer, que en este capítulo, al igual que en el del movimiento del apogeo solar, también Ibn al-Kammād parece haber corregido a su maestro ya que utiliza un año sidéreo de 6,5;15,36,0,30 días[164].

El tercer parámetro básico es el de la excentricidad del modelo solar. Aquí hay que recurrir de nuevo al testimonio de Bernardo de Virduno quien atribuye a Azarquiel una excentricidad de 1;58^{p} para un radio del deferente de 60^{p}, a la que corresponde una ecuación máxima de 1;52,42°. Este último parámetro se encuentra confirmado por multitud de otras fuentes como *Estrellas Fijas* (1;53°), el *Almanaque* (1;52,50°), el ecuatorio (1;52,30°) e Ibn al-Kammād (1;52,44°). Ahora bien, hemos visto ya cómo, probablemente, Azarquiel descubre el movimiento propio del apogeo solar a partir de una comparación de su determinación de la longitud del apogeo con las que llevaron a cabo sus predecesores entre los que el tratado sobre las *Estrellas Fijas* menciona expresamente a Hiparco, Ptolomeo, Tābit b. Qurra y

[163] Coincide casi exactamente con el que estima Ibn al-Hā'im para su época: 6,5;15,23,37,33^{d}. Cf. ms. Bodleian Library cit. fol. 72r.

[164] El problema de la duración del año solar por Ibn al-Kammād está por estudiar y plantea problemas ya que utiliza también un año de 6,5;15,36,19,35,32 y otro de 6,5;15,36,19,34,12. Cf. J.M. Millás, *Las traducciones orientales en los manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo* (Madrid, 1942) p. 236 y el manuscrito 10023 de la Biblioteca Nacional de Madrid fols. 2v y 65v.

al-Battānī. Sin duda debió realizar un planteamiento similar en lo relativo a las distintas estimaciones históricas de la excentricidad solar. Esto le llevó a construir un modelo solar totalmente original, aunque influido probablemente por el modelo ptolemaico de Mercurio, que justificaría las variaciones de la excentricidad desde la época de Hiparco. Sigo literalmente a Toomer en la descripción de este modelo (cf. Fig. 26):

El sol (S) gira con velocidad sidérea uniforme en torno al centro (C) de su excéntrica. C, por su parte, gira muy lentamente y con velocidad uniforme en torno al centro de un pequeño círculo (C'E), con lo que produce una lenta variación secular en la excentricidad solar (OC''). La Tierra (O) está situada al exterior del pequeño círculo C'E.

Este curioso modelo solar zarqālí fue conocido en la Europa Renacentista y Copérnico, cuya fuente de información era el *Epítome* de Regiomontano, lo utiliza en el *De revolutionibus*. Conviene señalar que el modelo no sólo produce una lenta variación de la excentricidad sino que fuerza asimismo un movimiento de vaivén en la posición del apogeo solar: ni Azarquiel ni Copérnico parecen tener en cuenta esta trepidación del apogeo. En el caso de Azarquiel, esta interpretación se apoya en toda la evidencia de que disponemos acerca de sus ideas sobre el movimiento del apogeo solar y coincide con la impresión general que produce su actitud ante problemas paralelos: Azarquiel es, ante todo, un astrónomo matemático que se preocupa por construir un modelo que le permita *calcular* la excentricidad solar para una fecha determinada. Prescinde por completo de la posibilidad de que este modelo tenga una realidad física y se olvida — al igual que hará en otros casos, cuando le convenga (cf. *infra* § 3.3.7) — de las posibles consecuencias enojosas que el modelo pueda tener al forzar una trepidación del apogeo.

Los parámetros del modelo no pueden deducirse de las fuentes europeas conocidas pero parecen bien documentados en la tradición andalusí y norteafricana (Ibn al-Kammād, Ibn al-Hā'im, Ibn Isḥāq, Ibn al-Bannā'). Los reproduzco a continuación:

- *Posición del punto C (centro de la excéntrica solar) al principio de la Hégira (14.7.622)* : 83;40,31° (Ibn al-Kammād) y 83;40,53° (Ibn Isḥāq/ Ibn al-Bannā').

- *Movimiento medio diario del punto C*: 0;0,1,3,41,21,50,8,52° (Ibn Isḥāq/ Ibn al-Bannā'). Este parámetro corresponde a una revolución

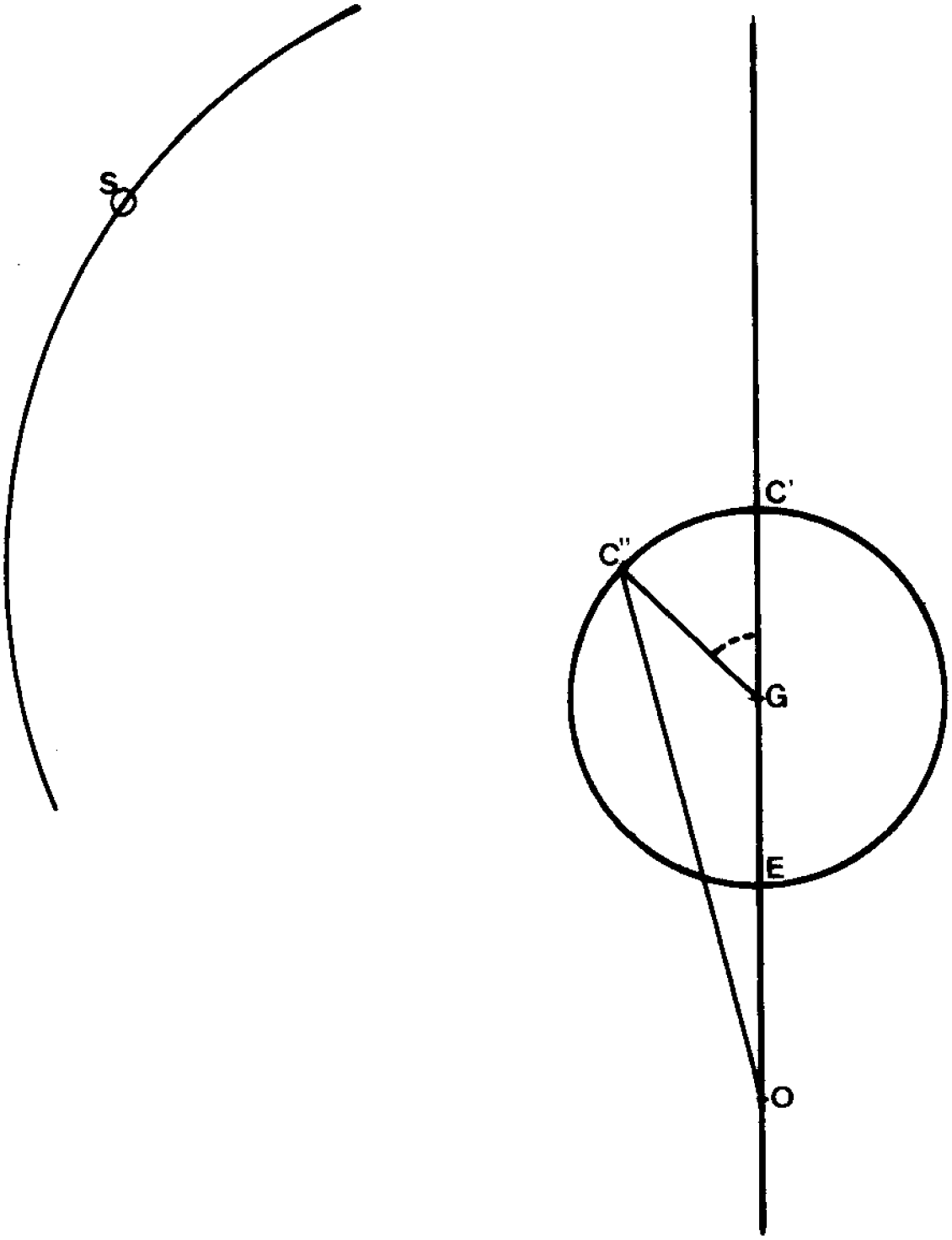


Fig. 26
Modelo solar de Azarquiel con excentricidad variable.

en 3342.71 años julianos y coincide, aproximadamente, con los 3345 años persas que menciona Ibn al-Hā'im[165] el cual registra, asimismo un avance diario de 0;0,1,3,41°.

- *Distancia OC (máximo valor de la excentricidad)*: 2;29,30P (Ibn al-Kammād/ Ibn al-Hā'im), 2;29,33P (Ibn al-Bannā') para un radio de la excéntrica solar de 60P.

- *Distancia OE (mínimo valor de la excentricidad)*: 1;50,30P (Ibn al-Kammād), 1;50,56P (Ibn Isḥāq); 1;50,59P (Ibn al-Bannā').

- *Distancia GC (radio del epiciclo central)*: 0;19,30P (Ibn al-Kammād), 0;19 (Ibn al-Hā'im), 0;19,17P (Ibn Isḥāq/ Ibn al-Bannā').

Puede verse en la lista anterior un acuerdo fundamental entre las tres fuentes utilizadas ya que las diferencias entre las mismas son mínimas. A la máxima excentricidad le corresponde, aproximadamente una ecuación máxima de 2;23° que es, precisamente, la máxima ecuación del sol del *Almagesto*. La excentricidad mínima (≈ 1;51P) está por debajo del parámetro determinado por Azarquiel para su propia época (1;58P): su modelo predecía, por tanto, que la excentricidad solar iba a seguir disminuyendo durante un cierto tiempo.

Con los parámetros antes mencionados podemos calcular valores de la excentricidad desde el siglo II a.C. hasta principios del siglo XIII y representar los resultados en la gráfica de la Fig. 27: la curva muestra una coincidencia casi exacta en el valor de la excentricidad determinado por Hiparco (2;30P para c. 150 a.C.: el valor calculado es 2;29,31P), buenas aproximaciones a las excentricidades establecidas por Ṯābit b. Qurra (utilizando observaciones ma'mūníes realizadas c. 830-31: 2;2,6P, el cálculo da 2;5,16P para el 831) y al-Battānī (2;4,5P en el 883, al calcular obtengo 2;3,26P). La coincidencia es excelente para la época de Azarquiel: hemos visto que, en observaciones realizadas en el 467/1074-75 obtuvo una excentricidad de 1;58P y su modelo nos permite calcular 1;57,20P para fines del 466 y 1;57,18P para fines del 467. El acuerdo, con mínimas correcciones, de todas las fuentes y la concordancia del cálculo, basado en el modelo zarqālí y en los parámetros transmitidos por la tradición posterior, con las estimaciones de la excentricidad realizadas precisamente por las fuentes a las que Azarquiel tenía acceso y que cita en su tratado sobre las *Estrellas fijas* me hace creer en la autenticidad del conjun-

[165] Ms. Bodleian Library cit. fols. 26r-27r.

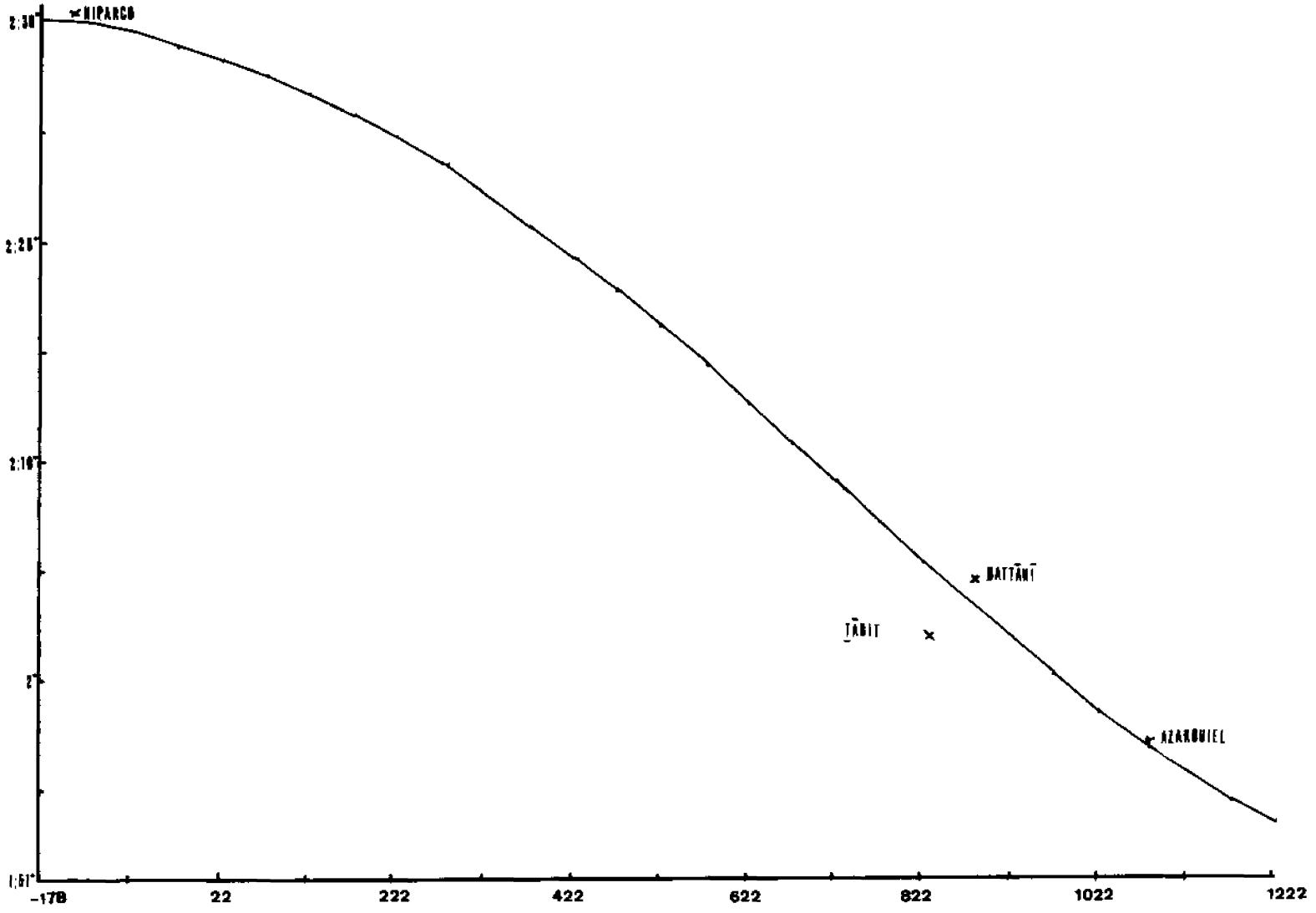


Fig. 27

Gráfica en la que se representan las variaciones históricas de la excentricidad solar de acuerdo con el modelo de Azarquiel.

to que nos permite disponer de los datos fundamentales del modelo solar de Azarquiel.

3.3.5 EL MODELO LUNAR.

El *al-Zīŷ al-kāmil fī-l-taᶜālīm* de Ibn al-Hā'im nos proporciona datos absolutamente inéditos acerca de los trabajos realizados por Azarquiel sobre el modelo lunar que conoce a través de la lectura de un manuscrito escrito con el puño y letra del astrónomo toledano (*ᶜalà mā waŷadnā la-hu bi-jaṭṭ yadi-hi*) en el que puede comprobar que Azarquiel llevó a cabo observaciones lunares durante unos treinta y siete años las cuales le llevaron a introducir una única corrección en el modelo lunar ptolemaico. Así, mientras Ptolomeo hace coincidir el centro del movimiento medio en longitud de la luna con el centro de la Tierra, Azarquiel ha podido comprobar -- gracias, sobre todo, a sus observaciones de eclipses en los cuales sol y luna se encuentran en conjunción o en oposición -- que el centro de este movimiento medio se encuentra situado sobre la línea recta que une el centro de la Tierra con el apogeo solar. Lo que Azarquiel está haciendo es, pues, introducir un punto ecuante móvil para la luna (ya que se irá desplazando al seguir al apogeo solar) en el modelo lunar ptolemaico. El valor máximo de la corrección a introducir (*ijtilāf*) será de 0;24° y la regla que permite obtener la longitud media «verdadera» (l_V) a partir de la longitud media obtenida en las tablas (l_t) -- tomando en ambos casos el apogeo solar como origen de longitudes -- es:

$$l_V = l_t + 0;24^\circ \text{ sen } l_t$$

Resulta fácil de ver que nos encontramos aquí con una nueva aplicación de la «solución por senos» de los astrónomos indios[166] lo que muestra, una vez más, la importancia de esta tradición tanto en la obra de Azarquiel como, en general, en la astronomía andalusí. Esta corrección zarqālí en el modelo lunar ptolemaico -- cuya importancia está aún por valorar -- tuvo un cierto éxito ya que la encontramos recogida -- sin explicación ninguna -- en el *Muqtabis*

[166] E.S. Kennedy y A. Muruwwa, «Bīrūnī on the Solar Equation». S.I.E.S. pp. 603-612.

de Ibn al-Kammād[167], en los *zīŷes* de Ibn Isḥāq[168] e Ibn al-Bannā'[169] y, en un contexto europeo, en los cánones castellanos de la primera versión de las *Tablas Alfonsíes*[170].

3.3.6 LOS MODELOS MATEMATICOS DE TREPIDACION[171]

3.3.6.1 *Generalidades*

Hemos visto ya que las primeras tablas astronómicas documentadas en al-Andalus, el *zīŷ* de al-Jwārizmī que conocemos a través de la adaptación de Maslama, calculaban longitudes sidéreas y no contenían, al parecer, referencia alguna a la precesión de los equinoccios. Por otra parte, en la segunda mitad del siglo X, los astrónomos cordobeses conocían el *zīŷ* de al-Battānī, con el que se calculaban longitudes trópicas y que utilizaba una precesión constante de 1° en 66 años solares, parámetro que Ibn al-Samḥ demuestra conocer en su tratado sobre el ecuatorio (cf. § 2.5.2.4.). Del mismo modo, ya en la segunda mitad del siglo XI, Ibn Muᶜāḏ menciona, en sus *Tabulae Jahen*, una tabla que permitía calcular el valor de la precesión constante para una fecha determinada, sin que conozcamos el parámetro numérico en el que se basaba (cf. *supra* § 3.3.2.2). Ahora bien, estas referencias a la precesión constante no constituyen lo más característico en la astronomía andalusí la cual aparece, a este respecto, como heredera de una tradición clásica[172] recogida asimismo por la astronomía india[173]. La formulación más clara de esta doctrina en al-Andalus, en su versión helenística, la encontramos en el *Picatrix*, una obra de magia talismánica escrita en

[167] Ms. 10023 de la Biblioteca Nacional de Madrid capítulo (*porta*) 13.

[168] Ms. Hyderabad cit. cap. 15.

[169] J. Vernet, *Contribución al estudio de la labor astronómica de Ibn al-Bannā'* (Tetuán, 1952), ed. pp. 31-32 y trad. pp. 88-89. La tabla de *ṣarf* mencionada en este texto calcula, simplemente, *24 sen a*.

[170] Rico, *Libros* IV, 134.

[171] Resumo, en este apartado, mi trabajo en curso de publicación «Trepidation in al-Andalus in the 11th century».

[172] Neugebauer, *H.A.M.A.*, 631-634.

[173] D. Pingree, «Precession and Trepidation in Indian Astronomy before A.D. 1200», *Journal for the History of Astronomy* 3 (1972), 27-35.

al-Andalus en el siglo XI, en la que se nos transcriben, aunque con algún error, las mismas palabras de Teón de Alejandría (fl. c. 370) en las que este refiere que los antiguos astrólogos afirmaban que los puntos equinocciales estaban sometidos a un movimiento de vaivén a lo largo de un arco de 8°. El texto del *Picatrix* nos dice que 128 años antes del reinado de Augusto (la era de Augusto se inicia el 30 a. de C.) la retrogradación (*idbār*) llegó al máximo (para Teón, esta fecha corresponde a la del máximo avance o *iqbāl*) y que avance y retrogradación tienen lugar a un ritmo de 1° cada 80 años, con lo que cada una de estas dos fases (avance/ retroceso) dura 640 años. A estos datos bien conocidos hay que añadir dos novedades que surgen en el *Picatrix*: afirma, por una parte, que los autores de tablas astronómicas suelen ignorar la teoría de la trepidación, que tan importante es para los talismanistas, y, por otra, nos indica cuál es la causa de la trepidación al afirmar que «este avance y retroceso se debe al movimiento del polo de la eclíptica que será de oriente a occidente o de occidente a oriente, ya que sólo estos dos movimientos son posibles [...]. Has de saber, por último, que estos dos [movimientos] se deben a la esfera de la eclíptica y no a la esfera recta (*al-falak al-mustaqīm*)» expresión que, en el *Picatrix*, suele designar la novena esfera[174]. Parece, pues, claro que el autor del *Picatrix* tenía sólo una vaga noción de un modelo matemático de trepidación, debida a un giro de los polos de la eclíptica en torno a los polos del ecuador y que desconocía la existencia de tablas astronómicas en las que la precesión se calculara de acuerdo con esta teoría.

El texto del *Picatrix* mencionado, como otros muchos, da una descripción básicamente cualitativa de la teoría, carece de un tratamiento matemático adecuado y no justifica las causas que motivan la necesidad del movimiento descrito. A estas deficiencias parece aludir Ṯābit b. Qurra, en una carta reproducida por Ibn Yūnus[175], en la que hace hincapié en la dificultad que ofrece una formulación matemática de esta teoría. Este tipo de desarrollo parece haber tenido lugar, sobre todo, en al-Andalus en el siglo XI y en la España Cristiana en el XIII (caso de Alfonso X), por más que deban recono-

[174] Pseudo-Maǧrīṭī, *Das Ziel des Weisen*. Ed. H. Ritter, Leipzig-Berlin, 1933, pp. 78-79.

[175] Cf. Millás, *Azarquiel* p. 488 n. 1; cf. también A.P. Caussin de Perceval, «Le livre de la grande table hakémite», *Notices et Extraits des Manuscrits de la Bibliothèque Nationale*, Paris, vol. VII (1804), pp. 114-118.

cerse unos oscuros orígenes orientales: se encuentra aún virgen de estudio, por ejemplo, el libro sobre los movimientos del sol (*Kitāb fī ḥarakāt al-šams*) de Ibrāhīm b. Sinān (908-946) que contiene un modelo matemático de trepidación que no parece el mismo que, después, predominó en al-Andalus[176]. A estos orígenes alude Ṣāᶜid de Toledo cuando, al mencionar el *Kitāb Naẓm al-ᶜiqd*, obra perdida, compuesta por Ibn al-Adamī y publicada por un discípulo suyo en el año 949, señala que su autor había puesto de relieve en ella ciertos aspectos sin precedentes de la teoría de la trepidación. Esta doctrina le había resultado a Ṣāᶜid algo incomprensible e irreducible a una ley [matemática] hasta que el libro de Ibn al-Adamī le cayó entre las manos. Entonces pudo estudiarla durante un tiempo y exponer su contenido, junto con aportaciones originales, en su libro acerca de los movimientos de los cuerpos celestes[177]. Un segundo pasaje del mismo autor toledano parece insistir de nuevo en el tema ya que afirma que, en su libro, corrigió los errores en que habían incurrido los partidarios de la escuela del *Sindhind*[178] con lo que tal vez esté aludiendo, entre otros temas, a la falta de un tratamiento de la precesión. Este testimonio de Ṣāᶜid tiene el máximo interés por constituir una de las referencias, cronológicamente seguras, más antiguas de que disponemos acerca de la introducción en al-Andalus de la teoría de la trepidación y porque resulta casi contemporáneo de dos hechos esenciales: la aparición en este país del *Liber de motu octaue spere* y la redacción, por parte de Azarquiel, de un tratado sobre el movimiento de las estrellas fijas que constituye, sin duda, uno de los textos medievales (no sólo hispánicos) más completos de que disponemos sobre el tema. Por otra parte, el *zīŷ* de Ibn al-Hā'im nos proporciona datos nuevos acerca del desarrollo de la teoría de la trepidación en el entorno de Ṣāᶜid de Toledo. Ibn al-Hā'im no sólo insiste en las «observaciones toledanas» (*al-arṣād al-ṭulayṭuliyya*)[179] sino que las relaciona con «el grupo de Toledo» (*al-ŷamāᶜa al-ṭulayṭuliyya*)[180] constituido por Azarquiel, el cadí Ṣāᶜid, Abū Mar-

[176] Cf. la ed. de Aḥmad Salīm Saᶜīdān, *Rasā'il Ibn Sinān*, Kuwayt, 1983, pp. 274-304.

[177] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 146-147; tr. Blachère p. 114.

[178] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt*, ed. Bū ᶜAlwān p. 175; tr. Blachère p. 135.

[179] Ms. Bodleian Library fol. 3v.

[180] Ms. Bodleian Library fol. 59v.

wān al-Istiŷŷī y otros cuyo nombre no menciona. Todos estos autores habrían trabajado en el desarrollo de la teoría de la trepidación[181] y Abū Marwān sería el autor de una *Risālat al-iqbāl wa-l-idbār* («Epístola sobre el acceso y el receso»)[182] sobre la que nos conserva algunos datos.

3.3.6.2. *El «Liber de motu octaue spere».*[183]

Esta obra, cuya cronología y autor no parecen seguros, ha sido considerada habitualmente como la formulación más antigua conocida de un modelo matemático de trepidación. Resumiré las características principales del modelo (cf. Fig. 28): el punto A, determinado por la intersección del ecuador QQ' y de la eclíptica media AC, es el equinoccio medio. Sobre el pequeño epiciclo ecuatorial B_1B_2 de centro A, se desplaza el punto B con movimiento uniforme: este punto recibe el nombre de «cabeza de Aries móvil» y arrastra, al girar, a una eclíptica móvil, cuyo punto de intersección con el ecuador (equinoccio) se va, a su vez, desplazando, manteniéndose siempre el punto común, C, a 90° de A. En la figura represento dos posiciones de la eclíptica móvil: E_1B_1C y B_2E_2C donde E_1 y E_2 serán los equinoccios correspondientes a los momentos en que el punto B se encuentre en las posiciones B_1 y B_2, respectivamente, y los arcos de eclíptica móvil E_1B_1 y E_2B_2 determinarán el incremento en longitud debido a la precesión/trepidación en los dos momentos a los que me estoy refiriendo. Denominaré ángulo *i* al arco GB, medido desde el ecuador, que me permite fijar la posición de B sobre el epiciclo ecuatorial. En este modelo existe, evidentemente, un segundo epiciclo ecuatorial, situado a 180° de distancia de A, en torno al cual girará la cabeza de Libra móvil[184].

[181] Ms. Bodleian Library fol. 28r.

[182] Ms. Bodleian Library fol. 8v.

[183] El texto latino fue editado repetidamente por Millás. Citaré la edición que aparece en su *Azarquiel*, pp. 496-509. Hay traducción inglesa con comentarios de O. Neugebauer, «Thâbit ben Qurra "On the Solar Year" and "On the Motion of the Eighth Sphere"». *Proceedings of the American Philosophical Society* 106 (1962), pp. 290-299.

[184] Sobre el modelo del *Liber de motu* cf. B.R. Goldstein, «On the Theory of Trepidation according to Thābit b. Qurra and al-Zarqālluh and its Implications for

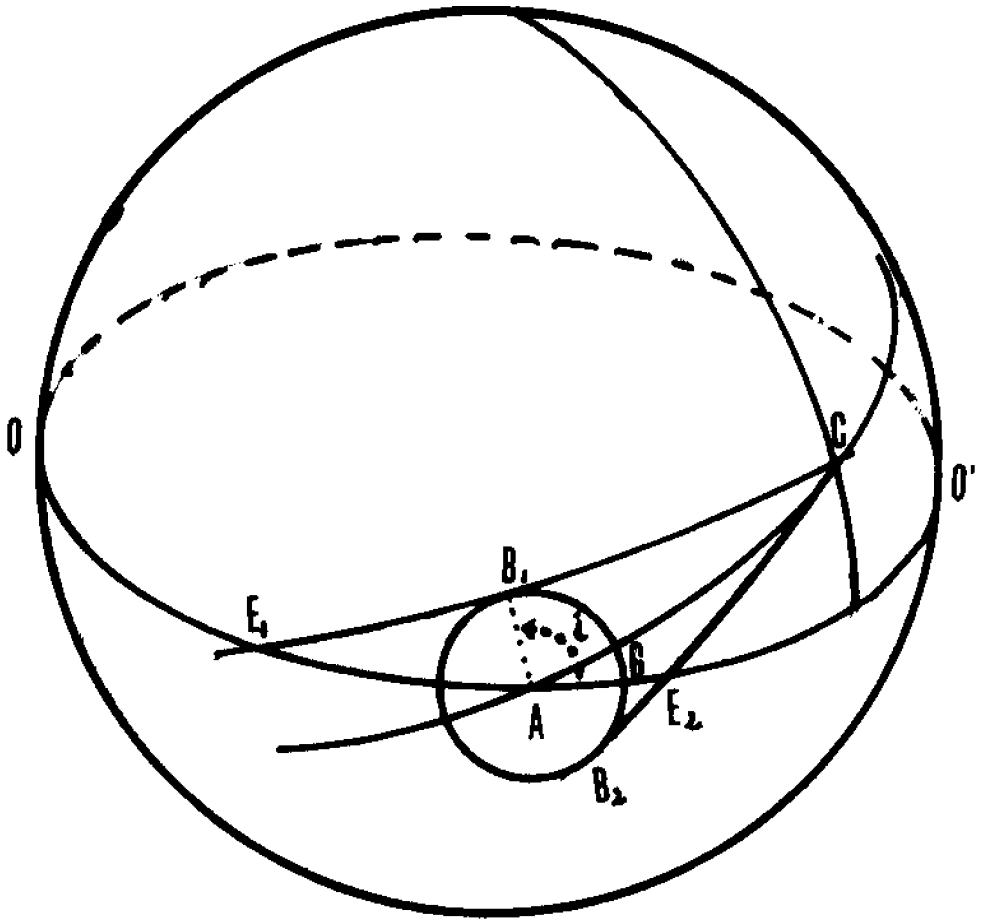


Fig. 28
Modelo de trepidación en el «Liber de motu».

En el *Liber de motu* debe distinguirse claramente entre el texto explicativo y las tablas que lo acompañan. Estas últimas reaparecen en las *Tablas de Toledo*. Existen dos indicios que me mueven a sospechar que el texto y las tablas numéricas no son necesariamente del mismo autor:

1) El texto menciona tres parámetros: r (radio del epiciclo ecuatorial)= 4;18,43^p; ϵ_0 (oblicuidad media de la eclíptica que corresponde a la eclíptica media AC)= 23;33°; P_{max} (máximo incremento en longitud)= 10;45°. De estos tres parámetros, el primero y el tercero aparecen explícitamente en las tablas, mientras que el segundo resulta incompatible con los dos anteriores a la hora de recalcular los valores, frecuentemente corruptos, de la tabla que nos permite obtener P (incremento en longitud) para un valor determinado de i. Puede comprobarse, en cambio, que los mejores resultados se obtienen utilizando ϵ_0 = 23;51°, valor ptolemaico de la oblicuidad.

2) El texto menciona explícitamente los dos propósitos del modelo geométrico que describe. Por una parte, *intenta justificar las variaciones históricas en las estimaciones de la constante de precesión* y menciona, a este respecto, dos ejemplos: 1° cada 100 años (valor ptolemaico) y 1° cada 66 años (que puede atribuirse a los astrónomos del califa al-Ma'mūn o a al-Battānī). Esta primera motivación del modelo se ajusta sin problemas a las tablas como puede constatarse por lectura directa en la tabla que nos da P en función de i. Ahora bien, el segundo propósito resulta más problemático ya que pretende *justificar la disminución secular de la oblicuidad de la eclíptica* ofreciéndonos tres ejemplos del fenómeno: ϵ = 24° según los astrónomos indios, ϵ = 23;51° según Ptolomeo y ϵ = 23;33° (sin atribución específica). Si, con los parámetros del texto, utilizamos un procedimiento exacto para calcular el valor de ϵ[185]

Homocentric Planetary Theory», *Centaurus* 10 (1964), 232-247; J. Dobrzycki, «Teoria precesji w astronomii sredniowiecznej», *Studia i Materialy Dziejow Nauki Polskiej* Seria Z,Z II (1965), 3-47 (en polaco, con un amplio resumen en inglés); J. North, «Medieval Star Catalogues and the Movement of the Eighth Sphere», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 17 (1967), 73-83; J. North, «Thebit's Theory of Trepidation and the Adjustment of John Maudith's Star Catalogue», *Richard of Wallingford. An Edition of his Writings with Introductions, English Translation and Commentary* III (Oxford, 1976), 155-158. R. Mercier, «Studies in the Medieval Conception of Precession», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 26 (1976), 197-220 y 27 (1977), 33-71.

[185] Mercier, «Studies» (1976), 212, (1977), 39. Cf. también sobre esta cuestión J. Samsó, «Sobre el modelo de Azarquiel para determinar la oblicuidad de la eclíptica», *Homenaje al Prof. Darío Cabanelas O.F.M. con motivo de su LXX*

(cf. Fig. 29) podremos fácilmente comprobar que los resultados obtenidos son satisfactorios tanto para la época de Ptolomeo (s.II de J.C.) como para la del califa al-Ma'mūn (c. 830 de J.C.). Ahora bien, si del texto pasamos a las tablas, la situación es radicalmente distinta ya que la tabla que nos da el valor de *P* no está calculada con un procedimiento exacto sino mediante una aproximación y las fórmulas aproximativas que dan buenos resultados se basan en la asunción simplificadora de considerar invariable la oblicuidad de la eclíptica. Nos encontramos, pues, por segunda vez, ante una discordancia entre el texto y las tablas del *Liber de motu.*

Las dos observaciones anteriores deben relacionarse con el problema del autor del *Liber de motu.* Este texto, accesible únicamente en una traducción latina, es atribuido por los manuscritos a Ṯābit b. Qurra (m. 901) pero esta atribución fue puesta en duda por Duhem[186], con argumentos de peso, postura que ha sido reafirmada en los últimos años por eruditos como Ragep[187] -- quien considera que el *De motu* se originó en al-Andalus antes de Azarquiel --y Morelon[188]. Lo único claro en esta obra es que es posterior a las observaciones ma'mūníes (c. 830) ya que éstas aparecen citadas en el texto. Veremos, más adelante, que existen razones para creer que el *De motu* debió surgir en Toledo en el círculo que rodeaba al cadí Ṣāᶜid y que éste es uno de los candidatos a ser el autor de la obra, que habría elaborado tomando como punto de partida la formulación de la teoría de la trepidación realizada por Ibn al-Adamī. Aceptar esta hipótesis resuelve ciertos problemas como el de que las *Tablas de Toledo* incluyan la tabla numérica para el cálculo de la trepidación sin mencionar en ningún momento que tal tabla proceda de una fuente distinta.

aniversario II (Granada, 1987), 367-377; K.P. Moesgaard, «Tychonian Observations, Perfect Numbers and the Date of Creation. Longomontanus Solar and Precessional Theories», *Journal for the History of Astronomy* 6 (1975), 84-99 (cf. p. 97).

186 P. Duhem, *Le système du monde* II (reimpr. París, 1965), 246-259.

187 J. Ragep, *Cosmography in the "Tadhkira" of Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī* (tesis doctoral inédita aunque accesible a través de University Microfilms, Ann Arbor, Michigan, 1982), pp. 219-229. Sus argumentos han sido aceptados por N.M. Swerdlow y O. Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus' De Revolutionibus* (Nueva York, Berlín, Heidelberg, Tokio, 1984) I, 43 n.

188 R. Morelon, *Thabit ibn Qurra. Oeuvres d'astronomie*, Paris, 1987, pp. XVIII-XIX.

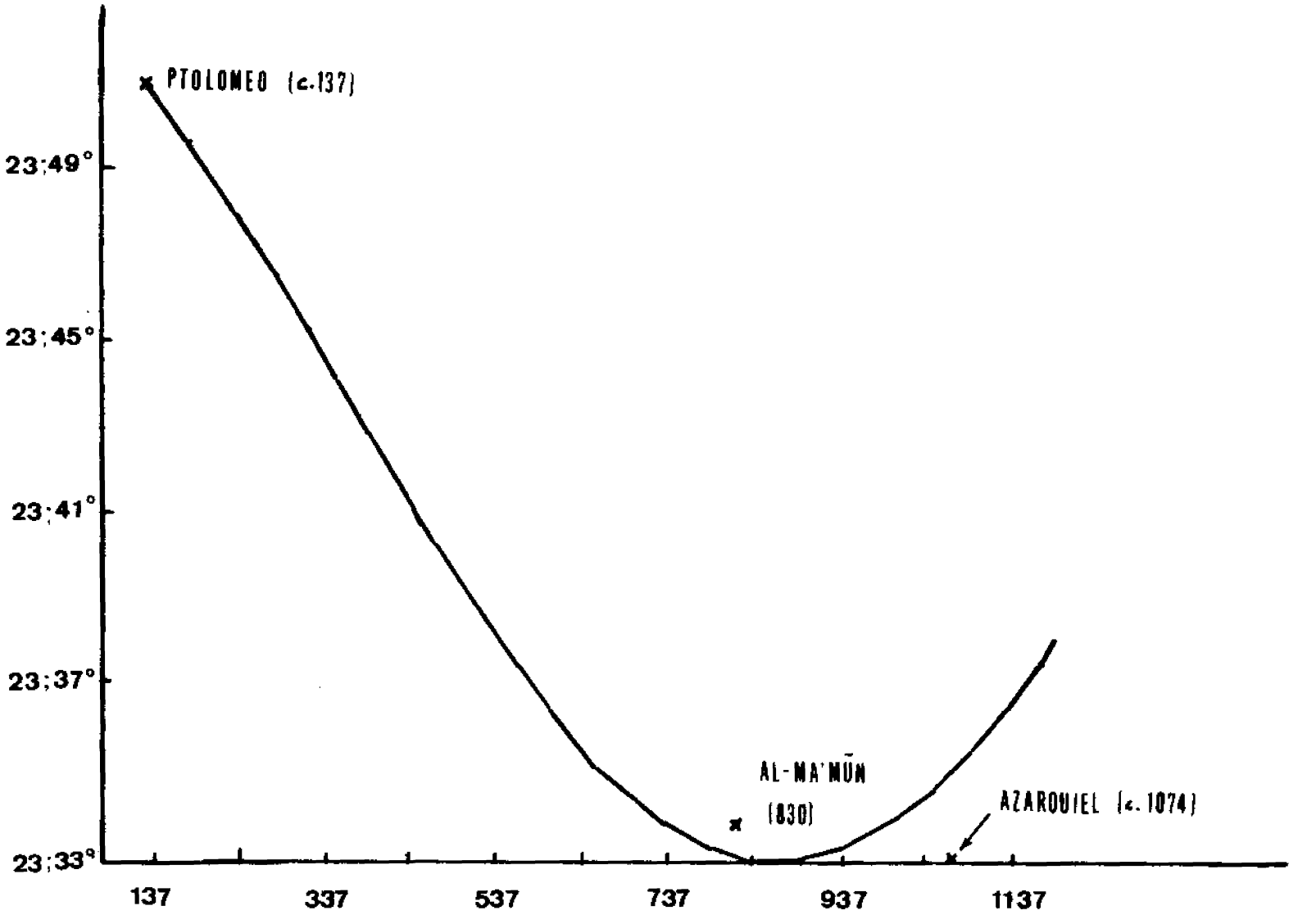


Fig. 29

Gráfica en la que se representan las variaciones históricas de la oblicuidad de la eclíptica de acuerdo con el modelo de trepidación del «Liber de motu».

3.3.6.3 *El tratado de Azarquiel sobre el movimiento de las estrellas fijas.*

3.3.6.3.1 Generalidades

El *Tratado sobre el movimiento de las estrellas fijas* se conserva, en versión hebrea, en un único manuscrito del que Millás publicó un facsímil y una traducción castellana[189]. Se trata de un texto muy poco estudiado sobre el cual mis observaciones tienen, forzosamente, carácter provisional.

Empecemos por plantear el problema de la fecha de la obra: se trata de un libro escrito en Córdoba, en la madurez del astrónomo, tras haber dedicado 25 años a observaciones del sol, estrellas y planetas, y haber escrito ya su libro *Sobre el año solar* que aparece citado en el texto. En él aparecen repetidamente fechas que parecen proporcionar algunos datos cronológicos: Maslama de Madrid observó posiciones estelares hasta el año 369/979-980, o sea «unos 92 años solares antes de nuestro tiempo», lo cual implica situarse hacia 1072. Este mismo 1072 vuelve a ser un *annus praesens* cuando se menciona una observación estelar de Ibn Bargūṯ llevada a cabo en 441/1049-50 «hace unos 22 años». Por otra parte 1074-75 aparece mencionado dos veces como fecha de una determinada posición de la cabeza de Aries en el pequeño epiciclo ecuatorial (467/1074-75) y como «año presente» que es el 1266 de Alejandro. Todo ello parece apuntar a una obra escrita hacia el 1074 de nuestra era pero se menciona una observación estelar realizada seis años más tarde, en 473/1080-81. Por otra parte parece claro que, en esta última fecha, el libro de las *Estrellas Fijas* no se había redactado aún ya que el libro sobre la construcción del ecuatorio, fechado precisamente en el 473 H., envía al lector, como hemos visto, a su libro *Sobre el año solar* en relación con el cálculo de la precesión. Parece, pues, que hay que apuntar a una fecha tardía, situada, quizás, a mediados de la década de los 80, en la que nos consta que Azarquiel se mantenía activo ya que Ibn al-Abbār manifiesta que el astrónomo toledano llevó a cabo sus últimas observaciones en Córdoba a fines del año 480/1088[190]. Las menciones de «años presentes», situados en la década de los

[189] Millás, *Azarquiel* pp. 250-343.

[190] Millás, *Azarquiel* p. 10.

setenta, en esta última obra, no pueden valorarse mientras no se disponga de una edición crítica del texto hebreo de *Estrellas Fijas.*

3.3.6.3.2 El primer modelo geométrico de Azarquiel.[191]

En este tratado, Azarquiel describe, sucesivamente tres modelos geométricos de trepidación de los que sólo uno, el tercero, ha sido estudiado con un cierto detalle[192]. El primero (cf. Fig. 30) sitúa el epiciclo TGDZ, de centro A, en el plano del meridiano P_NAP_S que pasa por los polos del ecuador y por los puntos equinocciales [medios] (A y W). E es el centro del universo y EA el radio común al ecuador HAU y al meridiano P_NAP_S. El epiciclo TGDZ gira con movimiento uniforme arrastrando, en su giro, al radio de la esfera EM. Este radio tendrá, por tanto, dos posiciones extremas, ET y EZ, y su intersección con el meridiano P_NAP_S determinará el punto M, cabeza de Aries móvil, que se desplaza a lo largo del arco TZ arrastrando consigo a la eclíptica móvil. Azarquiel manifiesta de forma explícita que este modelo no implica variaciones en la oblicuidad de la eclíptica, por lo cual las sucesivas posiciones de la eclíptica serán paralelas entre sí. El dibujo representa tres posiciones de la eclíptica: *eclíptica media* (AG), cuando M coincide con el punto A, lo cual implica asimismo una coincidencia del punto equinoccial medio con el punto equinoccial verdadero; *eclíptica*$_1$ (HM), cuando Aries móvil coincide con el punto M y el punto equinoccial verdadero coincide con H; *eclíptica*$_2$ (KU), cuando Aries móvil se encuentra en K y el equinoccio verdadero está en U. La «ecuación de la trepidación» (valor de la precesión en un momento dado) será 0° en el primer caso, +HM en el segundo y -KU en el tercero.

Una vez descrito el modelo, Azarquiel hace dos tentativas de asignarle parámetros (período de revolución del epiciclo TGDZ y radio del mismo): para la primera considera que el período de revolución es de 3792 años julianos (valor posiblemente corrupto) y el radio del epiciclo es de 3;54P. En la segunda el período de revolución del texto es de 4692 (probablemente 4292) años julianos, y no menciona el radio del epiciclo: el mejor ajuste con los valores del

[191] Descrito por Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī* pp. 183–184.

[192] Cf. Goldstein, «Trepidation» y Samsó, «Sobre el modelo».

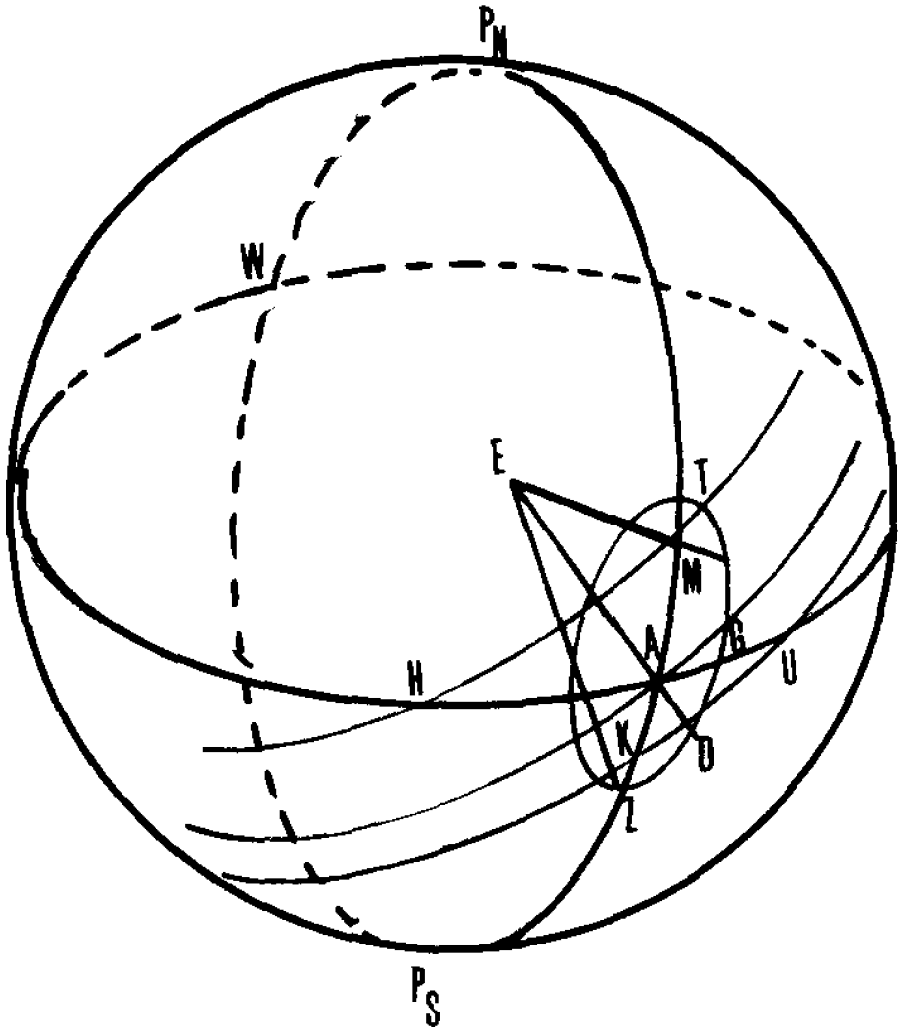


Fig. 30
El primer modelo de trepidación de Azarquiel.

texto se obtiene para r = 4;22P. En § 3.3.6.3.5 intentaré valorar los resultados obtenidos con este primer modelo, así como en los otros dos diseñados por Azarquiel.

3.3.6.3.3. El segundo modelo de Azarquiel.

En este segundo modelo[193] (cf. Fig. 31) el pequeño epiciclo BMCN (de centro A) se encuentra situado en el plano de la eclíptica EE', siendo OA el radio común a la eclíptica y al ecuador [medio] (QQ'). El epiciclo BMCN gira con movimiento uniforme arrastrando en su giro al radio OB, de nuevo -- en términos modernos --un radio vector de longitud variable, de tal modo que el punto Aries móvil -- determinado por la intersección de OB con la eclíptica-- se desplaza a lo largo del arco BC, que tendrá una amplitud aproximadamente igual al diámetro del epiciclo BMCN. El texto de Azarquiel no es explícito pero supongo que, como en los restantes casos, mantiene constante la oblicuidad de la eclíptica y produce el desplazamiento de Aries móvil a lo largo del arco BC mediante otro desplazamiento del ecuador que se mantendrá siempre paralelo al ecuador medio. Cuando Aries móvil coincida con el punto A, este punto será, al mismo tiempo, el equinoccio medio y el equinoccio verdadero y P (valor de la precesión para un momento dado) será 0º. El máximo valor de P será AC, en sentido positivo, y AB, en sentido negativo, o sea aproximadamente igual al radio del epiciclo.

Como antes, Azarquiel lleva a cabo dos aproximaciones al modelo en la primera de las cuales toma r = 10;26,10P (valor posiblemente corrupto, obteniéndose mejores resultados con r = 9;53,10P) y un período de revolución de 3218 años. En su segunda intentona r = 11;32P, aunque un valor más concorde con los datos del texto sería 10;48P, y el período de revolución del epiciclo es de 5150 años.

3.3.6.3.4. El tercer modelo de Azarquiel

Este tercer modelo de Azarquiel[194] es el único de los tres que ha sido objeto de estudios previos. Es fundamentalmente análogo al

[193] Millás, *Azarquiel* pp. 287-289 y 317-318.

[194] Millás, *Azarquiel* pp. 289-294, 304 y ss. *passim*.

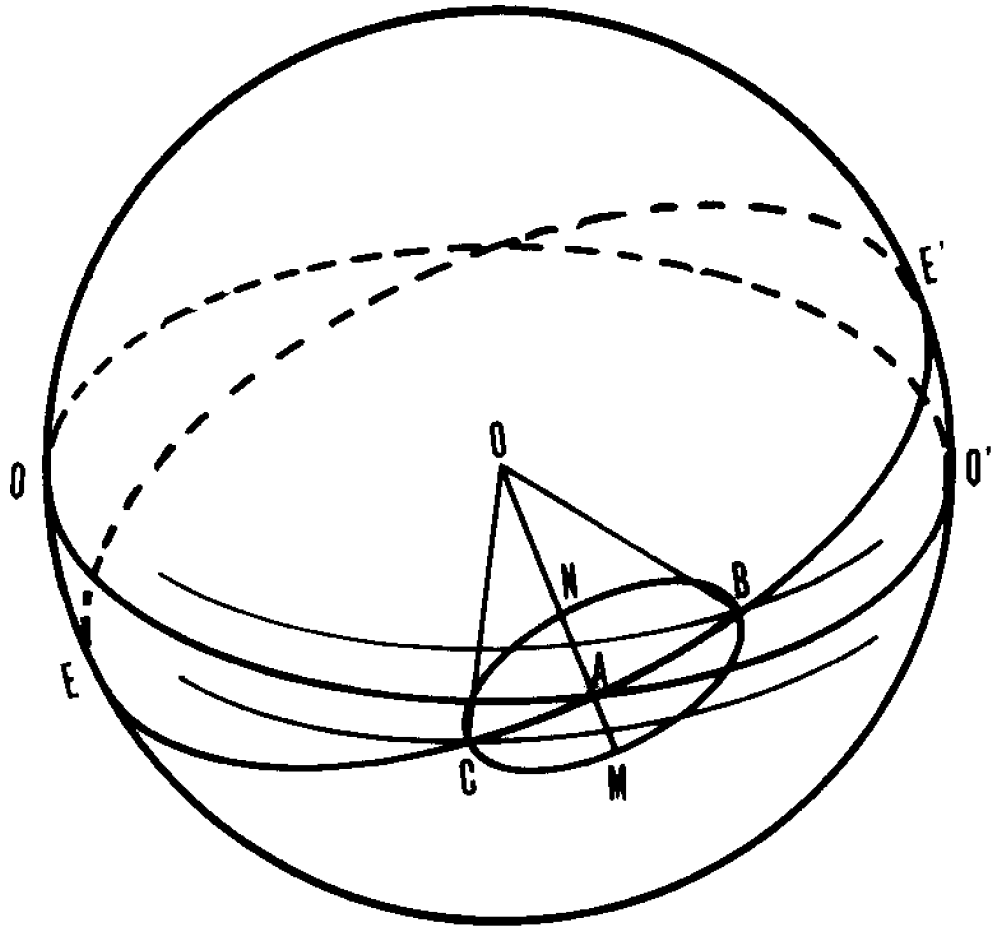


Fig. 31
El segundo modelo de trepidación de Azarquiel.

del *Liber de motu* (cf. Fig. 28) con una importante salvedad: Azarquiel manifiesta explícitamente que, en él, la oblicuidad de la eclíptica es constante. Por otra parte no está claro en el estado actual del texto el que, tal como ocurre en el modelo geométrico del *De motu*, exista un punto C situado siempre a 90° de A. Esta característica puede relacionarnos el modelo de Azarquiel con las tablas (no con el texto) del *De motu*. Los parámetros utilizados son, asimismo, nuevos: el radio del epiciclo ecuatorial mide 4;07,58^p y el período de revolución de la cabeza de Aries móvil es de 3874 años julianos, parámetro que puede controlarse gracias a la presencia de tres tablas de movimiento medio, con numerosos errores, ajustadas a los calendarios musulmán, juliano y persa[195].

Ahora bien, este modelo carece de una tabla que nos permita calcular directamente el valor de P, tal como sucedía con el *De motu*, sino que éste se calcula por un procedimiento indirecto que implica un modelo geométrico secundario que justifica la variación de la oblicuidad de la eclíptica. En la Fig. 32, O es el polo del ecuador y C el de la eclíptica. El radio OA del paralelo de declinación AG mide 23;43°. El polo de la eclíptica, C, gira sobre el epiciclo polar BE, cuyo centro se encuentra en A y que tiene un radio AB de 0;10° y lleva a cabo una revolución en 1850 años julianos. El conjunto resulta notablemente artificial -- al tratar de independizar la variación de la oblicuidad de la trepidación --pero es, sin duda, práctico ya que, con estos parámetros se logra que el modelo dé valores de la oblicuidad que oscilan entre 23;33° y 23;53°, ajustándose a lo que cabría esperar para la época de Ptolomeo (c. 137), la de las observaciones ma'mūníes (830) y la del propio Azarquiel (c. 1074), tal como puede advertirse en la gráfica de la Fig. 33, en la que puede observarse que la función resultante es creciente desde antes de la época de nuestro autor, razón por la cual pronto se debió advertir que 23;33° no constituía el valor mínimo de la oblicuidad. Tal es el caso de Ibn Isḥāq el cual, en su *zīŷ*, incluye una tabla de declinación calculada para ϵ = 23;32,30° y, aunque recoge fielmente el modelo de

[195] Cf. Millás, *Azarquiel* pág. 324. De hecho, las tres tablas, ajustadas a los tres calendarios, utilizan parámetros ligeramente distintos. La tabla calculada para años árabes se basa en un movimiento medio diario de 0;0,0,54,56,59,24,2,50,40,14° y el período de revolución es de 3874.36 años julianos. La tabla calculada para años julianos parte de un parámetro diario de 0;0,0,54,57,17,38,4,11° y el período de revolución es de 3874 años julianos. La tabla basada en el calendario persa utiliza un parámetro diario de 0;0,0,54,57,7,46,17,10,41,5° y el período de revolución es de 3874.19 años julianos.

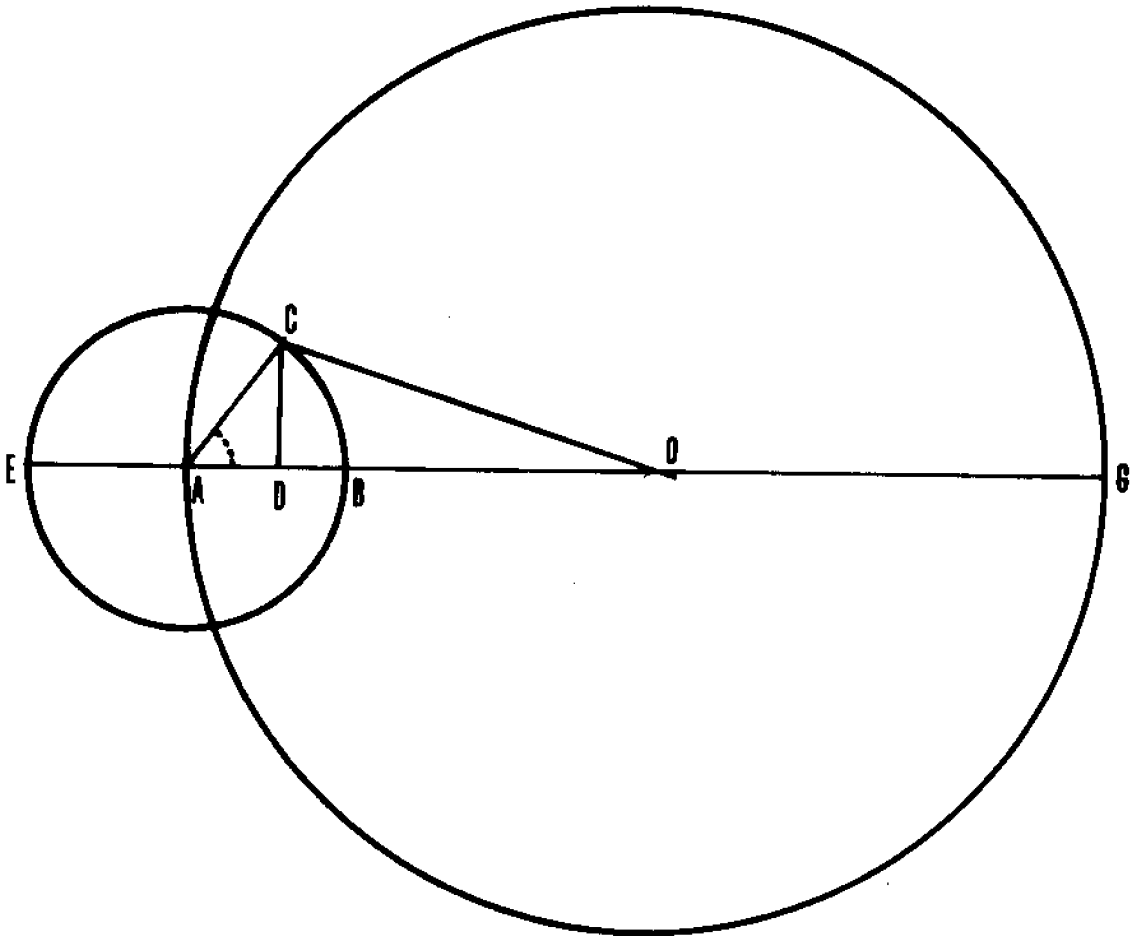


Fig. 32

El modelo secundario de Azarquiel para justificar las variaciones de la oblicuidad de la eclíptica.

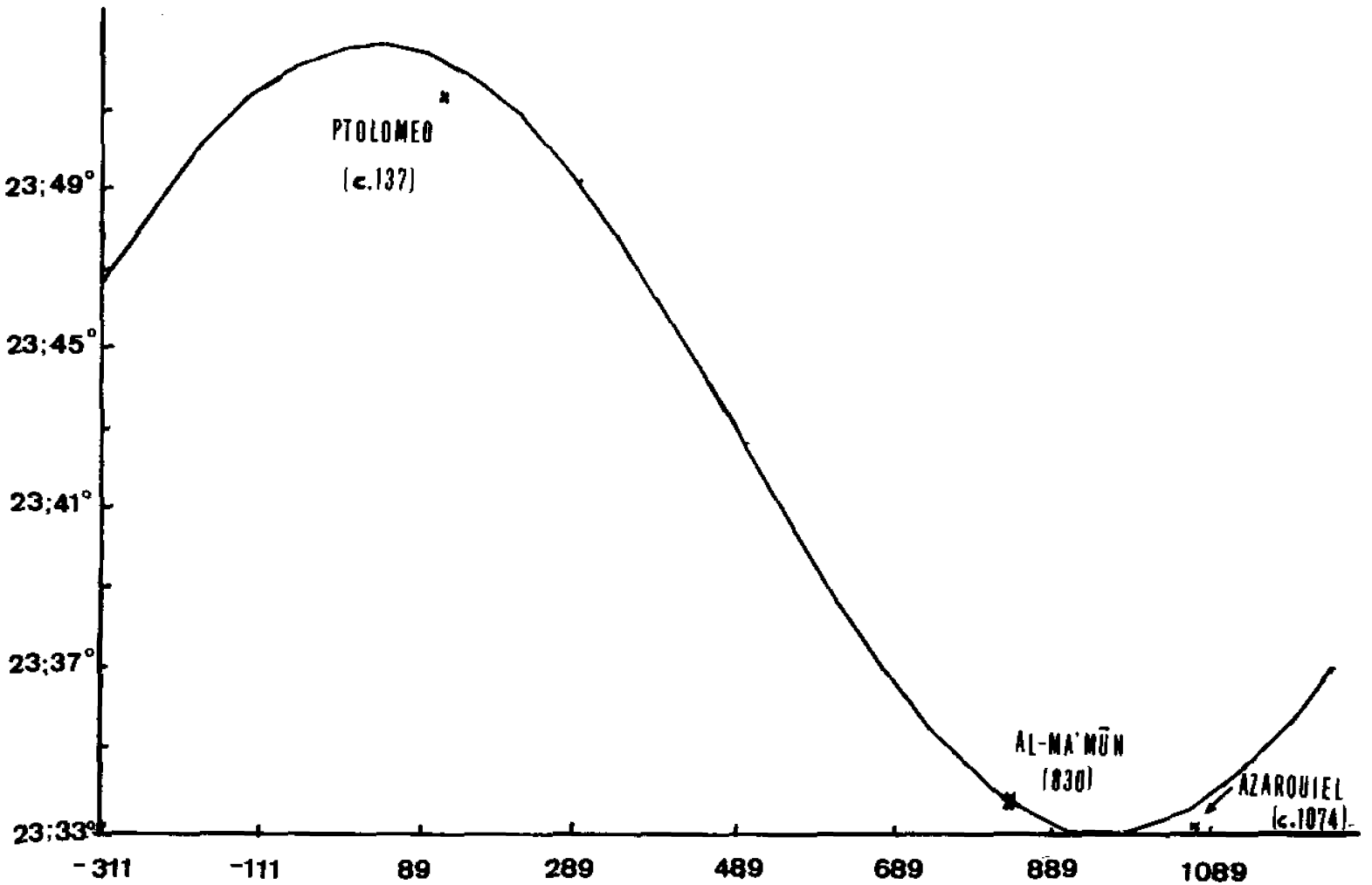


Fig. 33

Gráfica en la que se representan las variaciones históricas de la oblicuidad de la eclíptica de acuerdo con el modelo de Azarquiel.

Azarquiel para justificar las variaciones de la oblicuidad, ajusta los parámetros para un nuevo mínimo, que corresponde a su estimación del valor de ϵ para su tiempo: el radio OA del paralelo de declinación AG mide, ahora, 23;42,30°, mientras que el radio del epiciclo polar sigue midiendo 0;10°. Por otra parte, la velocidad de desplazamiento del polo de la eclíptica se ha lentificado notablemente, sin duda con el fin de retrasar el momento en el que la oblicuidad debiera empezar a aumentar: en lugar de una revolución en 1850 años, tenemos ahora un ciclo de 2698 años julianos[196].

Una vez establecido el valor del ángulo *i*, una tabla nos permite calcular δ = r sen i (cf. Fig. 34), procederemos, a continuación a calcular ϵ con las correspondientes tablas y, por último aplicaremos:

$$\text{sen } P = \text{sen } \delta \; / \; \text{sen } \epsilon$$

De acuerdo con la expresión anterior, el máximo valor de P lo obtendrémos para un máximo *sen* δ (i = 90°; δ = r = 4;7,58°) y un mínimo valor de ϵ (=23;33°). Tendremos entonces:

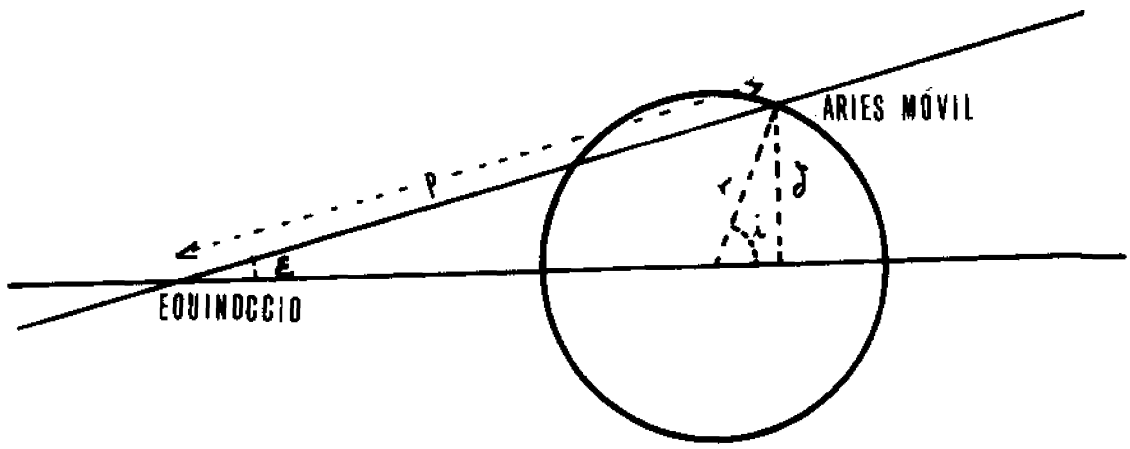


Fig. 34

196 M. Comes, «A propos de l'influence d'al-Zarqālluh en Afrique du Nord» cit.

$$P_{max} = \text{sen}^{-1}\left(\frac{\text{sen } 4;7{,}58^{o}}{\text{sen } 23;33^{o}}\right) = 10;23{,}29^{o}$$

Parámetro que se relaciona, sin duda, con el valor de $P_{max} = 10;24^{o}$, que se encuentra en una tabla para calcular el valor de P -- con una estructura similar a la del *Liber de motu* -- que aparece en los *zīyes* de Ibn Isḥāq e Ibn al-Bannā' los cuales demuestran, aquí, su estrecha dependencia de la obra de Azarquiel[197].

3.3.6.3.5 Valoración de los modelos de Azarquiel

Lo expuesto hasta ahora puede servir para completar en algo lo que ya sabíamos acerca del tercer y definitivo modelo de trepidación diseñado por Azarquiel e iniciar el estudio de los dos modelos previos de los que, con alguna excepción, no puede decirse que controlemos parámetros ni métodos de cálculo. Una valoración de conjunto de los tres modelos debiera tener en cuenta los puntos de partida utilizados por el propio Azarquiel que son, simplemente, las siguientes «observaciones» de la longitud de la estrella Calbalazada (*Qalb al-Asad, Cor Leonis*)[198]. Las fechas entre paréntesis son las que están implícitas en los datos de Azarquiel:

Hiparco (-146) :	119;39°
Ptolomeo (139):	122;26°
Ṯābit (831)[199]:	133;13°
Battānī (883):	133;58°
Maslama (980):	135;40°
Ibn Bargūṯ (1050):	136;20°
Azarquiel (c.1075):	136;35°

[197] Ibn al-Kammād (§ 5.2.3) e Ibn al-Raqqām (§ 6.3.2.2.3) realizarán conatos similares de computar una tabla de trepidación similar a la del *Liber de motu* a partir del tercer modelo de Azarquiel.

[198] Algunas lo son. Otras son deducciones de la longitud de Calbalazada a partir de determinaciones de la longitud del apogeo solar teniendo en cuenta la teoría de Azarquiel acerca del desplazamiento de éste. Cf. Millás, *Azarquiel* pp. 295-300 y 309-311.

[199] Esta es la fecha que parece deducirse del texto. En cualquier caso parece claro que Ṯābit utilizaba observaciones ma'mūníes.

Estos son los datos fundamentales del problema y Azarquiel no debió ser el primero en utilizarlos ya que Ibn al-Hā'im[200] nos proporciona una información muy interesante que toma de la *Risālat al-iqbāl wa-l-idbār* de Abū Marwān al-Istiŷŷī: según éste el valor de la precesión en época de Hiparco era de -9;38,40°, y en época de Ptolomeo de -6;50,40°. La diferencia entre estos dos valores es de 2;48° y podemos calcular fácilmente, a partir de la tabla anterior, que la diferencia entre las longitudes de Calbalazada entre las épocas de Ptolomeo e Hiparco es de 2;47°. Parece, pues, probable que al-Istiŷŷī estuviera manejando los mismos datos que Azarquiel a la hora de ajustar los parámetros del modelo de trepidación que estaba utilizando.

Podemos, ahora, controlar los resultados que Azarquiel obtiene con sus tres modelos, comparándolos con las diferencias entre las longitudes de Calbalazada de las que él mismo ha partido. En la tabla siguiente, la columna Δλ *Régulo* corresponde a las diferencias entre las longitudes de Calbalazada que Azarquiel atribuye a Hiparco y las que atribuye a Ptolomeo (Δλ = 2;47°), a al-Battānī (Δλ = 14;19°) y a sus propias observaciones (Δλ = 16;56°). Las restantes columnas corresponden a las aproximaciones a las mismas diferencias que Azarquiel logra con sus dos primeros modelos. Introduzco entre paréntesis las diferencias entre los valores que menciona el propio Azarquiel y los que yo obtengo al recalcularlos, y denomino modelos 1A y 1B, 2A y 2B a las dos variantes de cada uno de los dos primeros modelos zarqālíes. La unidad utilizada es siempre el grado:

Δλ Régulo	Δλ Mod.1A	Δλ Mod.1B	Δλ Mod.2A	Δλ Mod.2B
2;47(Pt.)	2;22(-6')	2;47(3')	2;51,50(5;25')	2;48(9')
14;19(Bt.)	13;18(-4')	14;44(3')	14;27,30(4;15')	14;22(21')
16;56(Az.)	15;45(-8')	17;26(0')	17;01,50(2')	16;56(40')

MODELOS 1 Y 2

Para el modelo definitivo de Azarquiel, podemos extender un poco más la comparación y relacionarla con las diferencias entre la longitud de Calbalazada para la época que nuestro autor atribuye a

[200] Ms. Bodleian Library fol. 8v.

Tābit y las que corresponden a todos los restantes autores mencionados al principio de este apartado. Resulta curioso, asimismo, comparar las diferencias que se obtienen a partir de este tercer modelo y las que se pueden calcular con los parámetros del *Liber de motu* y con la aproximación:

$$\text{sen } P = \text{sen } 10;45^{\circ} \text{ sen } i$$

Epoca	Δλ «obs.»	Δλ Mod3	Δλ «De motu»
Hiparco	-13;34°	-13;33,57°	-14;17,04°
Ptolomeo	-10;47°	-10;48,18°	-11;14,01°
Battānī	0;45°	0;47,19°	0;49,59°
Maslama	2;27°	2;09,49°	2;18,06°
Ibn Bargūṭ	3;07°	3;03,37°	3;16,39°
Azarquiel	3;22°	3;21,29°	3;36,22°

MODELO 3 Y «DE MOTU»

Del análisis de estos valores numéricos y de los de la tabla anterior se desprende que, efectivamente, Azarquiel está realizando una serie de intentos de ajustarse a los datos del problema que han constituido su punto de partida y que ha obtenido ya buenos resultados con su modelo 2B por más que, hasta el momento, no sepamos exactamente cómo: parece claro que, en lo que respecta a sus dos primeros modelos, controlamos el diseño general de los mismos pero no sus parámetros. No sucede lo mismo, en cambio, en lo que se refiere al tercer modelo con el que el cálculo nos da resultados muy ajustados. De estos resultados se desprende que Azarquiel no dio la misma importancia, a las «observaciones» de todas las autoridades que cita: tiene, sin duda, en cuenta las determinaciones de la longitud de Calbalazada que relaciona con Hiparco, Ptolomeo, Tābit, al-Battānī y consigo mismo pero no las que refiere a Maslama y a Ibn Bargūṭ, con las cuales el ajuste conseguido es mucho menos preciso. Finalmente, la columna calculada con los parámetros del *Liber de motu* resulta sorprendente: los resultados que se obtienen son equivalentes o mejores que los que el propio Azarquiel menciona en relación con sus modelos 1A, 1B y 2A. Me parece bastante claro que las tablas del *Liber de motu* se ajustaron a los mismos datos que maneja Azarquiel para sus tres modelos. Todo esto mueve a pensar

que estas tablas están relacionadas con la labor del grupo de astrónomos toledanos que rodea a Ṣāᶜid.

3.3.6.3.6 Resumen y conclusiones generales.

He pasado revista, en este apartado, a los modelos geométricos de trepidación haciendo hincapié, de manera muy especial, en la labor de Azarquiel cuyo libro sobre las *Estrellas Fijas* constituye uno de los rarísimos intentos serios conocidos de llevar a cabo un estudio matemático del problema, crear modelos y ajustar parámetros en función de una serie de datos derivados directa o indirectamente de la observación. Se trata de una obra poco estudiada y, aquí, me he limitado a intentar aclarar algo acerca de la geometría de los dos primeros modelos. Por otra parte, no he podido evitar el entrar en la cuestión batallona de los orígenes del *Liber de motu*, movido por los serios argumentos de Duhem. El *De motu* no puede, probablemente, atribuirse a Ṯābit ibn Qurra. Tal como señala Ragep, su nieto Ibrāhīm ibn Sinān parece haber sido el primero en describir, de forma puramente cualitativa, un modelo geométrico de trepidación--no necesariamente similar al del *De motu* -- y es uno de los posibles candidatos a la autoría de esta obra. Existen, no obstante, otros: uno de ellos sería Ibn al-Adamī que fue, sin duda, quien transmitió la teoría al cadí Ṣāᶜid, tercer candidato, ya que sabemos que se ocupó del tema y añadió aportaciones originales a la teoría recibida. El cuarto es al-Istiŷŷī que, según Ibn al-Hā'im, compuso una *Risālat al-iqbāl wa-l-idbār*. El quinto y último es el propio Azarquiel: el *De motu* podría ser un primer esbozo de lo que elaboraría más tarde en *Estrellas Fijas*, por más que esta solución no sea, tal vez, la más probable. De todas formas hay algo que me parece muy claro en el *Liber de motu* tal como lo conocemos actualmente: las tablas - especialmente la tabla de ecuaciones - parecen independientes del texto y son el resultado de la labor de nuestros astrónomos toledanos. Estas tablas fueron incorporadas a las *Tablas de Toledo* y, por ello, desaparece un *terminus ante quem* (el *De motu* anterior a las *Tablas de Toledo*) para fechar el *De motu*, que podría ser posterior a Azarquiel y constituir una redacción más de la teoría de la trepidación, basada en un modelo geométrico bien conocido. La cuestión es extraordinariamente oscura y no puedo resolverla por lo que me

limitaré a señalar, para terminar, que si bien este famosísimo modelo geométrico de trepidación se originó, con toda probabilidad, en el Oriente Islámico, su desarrollo tuvo lugar fundamentalmente en al-Andalus y, más tarde, en la Europa Cristiana de la Edad Media y del Renacimiento, constituyendo uno de los rasgos característicos de la astronomía andalusí.

3.3.7 ASTRONOMIA Y FISICA: LA DETERMINACION DE LA ALTURA DE LA ATMOSFERA.

En las páginas anteriores Azarquiel nos ha aparecido como un astrónomo teórico de mentalidad exclusivamente matemática y totalmente despreocupado de la realidad de los modelos geométricos que describe. Dos ejemplos, ya mencionados, bastan para apoyar esta concepción: su modelo solar implica necesariamente un movimiento de vaivén del apogeo, mientras que Azarquiel concibe un apogeo solar que se desplaza, sidéreamente, con movimiento uniforme siempre en el mismo sentido (de Oeste a Este). De sus tres modelos de trepidación, en el primero se nos afirma explícitamente que no implica variaciones en la oblicuidad de la eclíptica lo cual quiere decir que ésta se desplazará manteniéndose siempre paralela a sí misma: si tal cosa sucede así, resulta difícil concebir cómo la eclíptica podrá seguir siendo un círculo máximo. Algo similar sucede con el tercer y definitivo modelo de trepidación: Azarquiel superpone al modelo básico (similar al del *Liber de motu*) un modelo secundario, situado en las proximidades del polo, para justificar precisamente las variaciones de la oblicuidad y que tiene la ventaja de facilitar enormemente el cálculo de ϵ. Entiendo, por ello, que cuando Azarquiel afirma que sus modelos no implican variaciones en el valor de ϵ, lo que quiere decir es, simplemente, que prescinde de tales variaciones porque complicarían excesivamente los datos a tener en cuenta a la hora de diseñarlos. Con dos modelos geométricos distintos independiza el cálculo de la precesión del de la oblicuidad, utiliza dos series de tablas distintas y obtiene resultados numéricos que se ajustan, aproximadamente, a los datos derivados de las observaciones de que dispone. La realidad del mundo físico no parece interesarle en absoluto.

Lo anterior contrasta con la información que nos ofrece Ṣāʿid de Toledo el cual atribuye a Azarquiel el haber sido el más clarividente

de los hombres de su tiempo en lo relativo a las observaciones astronómicas, ciencia de la estructura [física] del cosmos (*ᶜilm hay'at al-aflāk*) y cálculo del movimiento de los astros. Competencia en el mismo terreno del *ᶜilm hay'at al-aflāk* la atribuye también Ṣāᶜid al matemático valenciano Abū Zayd ᶜAbd al-Raḥmān b. Sayyid (cf. *supra* § 3.2), sobre el que nada sabemos en este terreno[201]. Hemos visto ya, en el capítulo anterior (§ 2.5.2.1) otros casos de uso de esta expresión por parte de Ṣāᶜid. Debo reconocer que, en este Siglo de Oro de la astronomía andalusí, una de las escasas referencias seguras a una concepción física del cosmos es la que aparece en las *Memorias* del último rey zirí de Granada, ᶜAbd Allāh (reinó 1075-1090) quien da unas curiosas estimaciones del tamaño de los planetas cuyo origen desconozco. Según él Saturno es 96 veces mayor que la Tierra y el Sol 360 veces, Júpiter, Marte y Venus serían también mayores y sólo la Luna y Mercurio tendrían un tamaño inferior al de la Tierra[202].

Disponemos, no obstante, de una obra de carácter auténticamente científico en la que se manifiesta una cierta preocupación por una concepción física del universo y en la que el propósito es llegar a una determinación de la altura de la atmósfera. Se trata del *Liber de crepusculis matutino et vespertino* (probablemente traducción del título original árabe que sería, como propone Sabra, *Mā al-faŷr wa-l-šafaq*) del que conservamos una traducción latina, atribuida a Gerardo de Cremona, que fue objeto, por lo menos de tres ediciones a lo largo del siglo XVI[203]. Se conserva asimismo una traducción hebrea, realizada por Samuel b. Judá de Marsella (s. XIV). El *Liber de crepusculis* se atribuyó durante mucho tiempo al célebre físico oriental Ibn al-Haytam hasta que Sabra[204] descubrió que su verdadero autor era el matemático y astrónomo Ibn Muᶜād al-Ŷayyānī, del que he hablado repetidamente en este capítulo.

201 Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt*, ed. Bū ᶜAlwān pp. 180-181; tr. Blachère pp. 138-139.

202 Ed. E. Lévi-Provençal, *Mudakkirāt al-amīr ᶜAbd Allāh*. Cairo, 1955, pp. 189-190. Trad. E. Lévi-Provençal y E. García Gómez, *El siglo XI en 1ª persona. Las "Memorias" de ᶜAbd Allāh, último Rey Zīrí de Granada destronado por los Almorávides (1090)*, Madrid, 1980, p. 316.

203 Cf. la edición crítica de A. Mark Smith, «The Latin Version of Ibn Muᶜādh's Treatise "On Twilight and the Rising of Clouds»», *Arabic Sciences and Philosophy*, 2 (1992), 83-132.

204 A.I. Sabra, «The authorship of the *Liber de crepusculis*, an Eleventh-Century Work on Atmospheric Refraction», *Isis* 58 (1967), 77-85.

El punto de partida de Ibn Muᶜāḏ[205] es considerar que el fenómeno de la aurora y el crepúsculo se debe a la reflexión de la luz solar cuando incide sobre los vapores exhalados por la tierra, que son más densos que el aire. La idea de que de la tierra salen vapores húmedos y exhalaciones secas aparece en muchas fuentes (por ejemplo en la *Meteorología* de Aristóteles) pero sólo Séneca, en sus *Naturales Quaestiones*, menciona que la luz solar es reflejada por tales vapores: Goldstein, al señalar este paralelismo, apunta a la posibilidad de que Ibn Muᶜāḏ hubiera conocido la obra de Séneca, lo que constituiría un caso más de supervivencia de una tradición científica latina en al-Andalus. El método propuesto por Ibn Muᶜāḏ es el siguiente (cf. Fig. 35):

Sea O el observador, T el centro del círculo AOC (la tierra) y ATG, un diámetro perpendicular a OT. El círculo, concéntrico con AOC, que pasa por H representa la altura de la atmósfera y su intersección con el horizonte determina el punto H en el que incide la luz solar cuando la altura negativa del sol es de -19°, momento en el que se inicia la aurora[206]. El problema consiste en determinar HL al que denominaré *x*. Ibn Muᶜāḏ empieza por demostrar que <HTK ≈ 9;30°. Si denominamos *r* al radio de la tierra, tendremos entonces, utilizando secantes para simplificar:

$$\sec < HTK = \frac{HT}{TK} = \frac{r + x}{r} = 1.01391$$

Ibn Muᶜāḏ utiliza, entonces, la estimación, bien conocida, de la longitud del meridiano terrestre de 24000 millas que deriva de los 180000 estadios de los que habla la *Geografía* de Ptolomeo utilizando un factor de conversión erróneo de 7.5 estadios por milla. De ahí

205 Cf. B.R. Goldstein, «Refraction, Twilight and the Height of the Atmosphere». *Vistas in Astronomy* 20 (1976), 105-107; «Ibn Muᶜādh's Treatise on Twilight and the Height of the Atmosphere». *Archive for the History of the Exact Sciences* 17 (1977), 97-118.

206 Obsérvese que Ibn Muᶜāḏ menciona el parámetro -18°, que es el habitual en al-Andalus para marcar el principio de la aurora y el fin del crepúsculo, pero opta por utilizar en sus cálculos -19° que aparece, así, documentado por primera vez en nuestro país. En Oriente lo utiliza Ibn Yūnus pero sólo para la aurora (-17° para el crepúsculo vespertino). Más tarde, como hemos visto (§ 3.3.2.2), el parámetro vuelve a surgir en la primera redacción de las *Tablas Alfonsíes*.

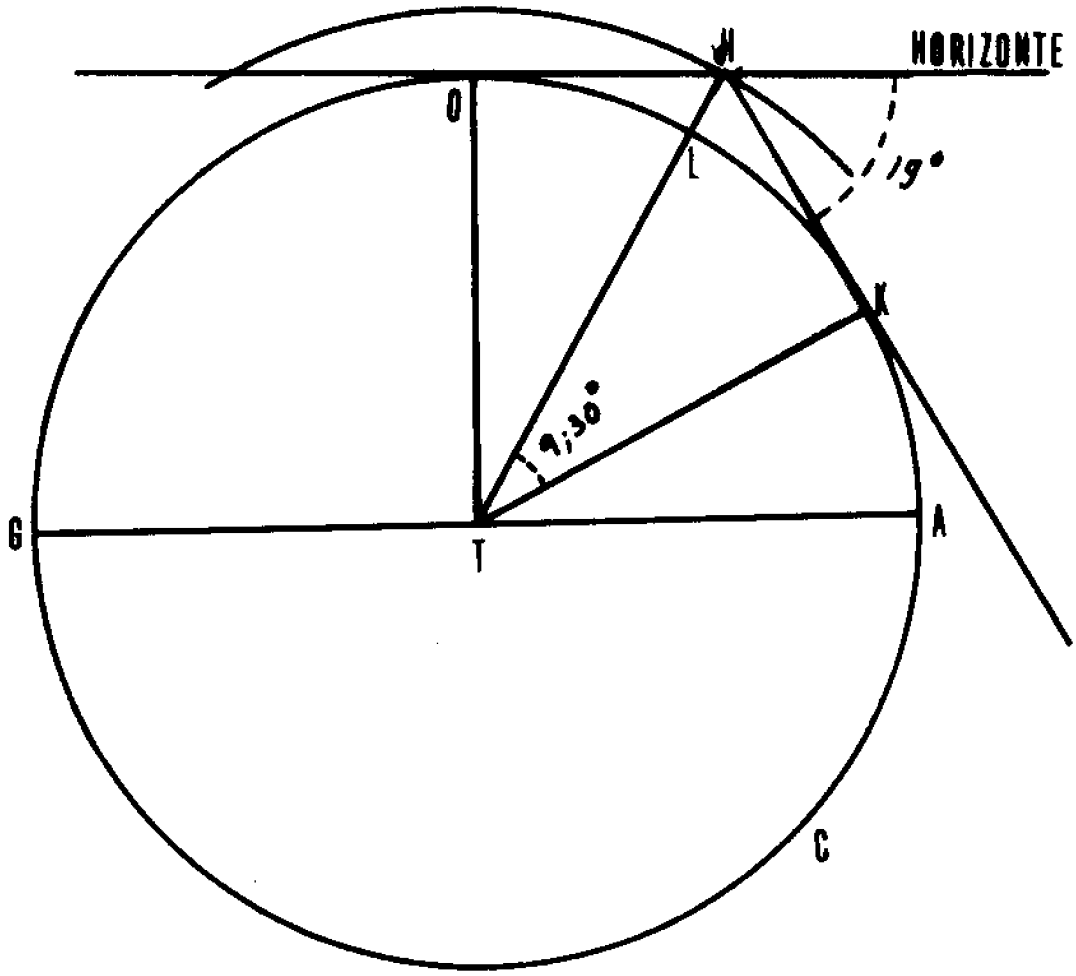


Fig. 35
Procedimiento de Ibn Muᶜāḏ para determinar la altura de la atmósfera.

deduce un radio terrestre de unas 3820 millas y un valor redondeado de la altura de la atmósfera de unas 50 millas.

Esta obra de Ibn Muᶜāḏ fue bien conocida en la Europa Latina y la estimación de la altura de la atmósfera en 50 millas fue aceptada de manera general hasta que Kepler dio una nueva estimación mucho menor, de 2.5 millas. Recientemente Saliba[207] ha puesto de relieve un posible eco de esta obra de Ibn Muᶜāḏ en Oriente al descubrir dos textos de Mu'ayyad al-Dīn al-ᶜUrḍī (m. 1266) y de Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī (m. 1311) en los que se expone el mismo procedimiento de Ibn Muᶜāḏ para determinar la altura de la atmósfera. La versión de al-Šīrāzī depende claramente de la de al-ᶜUrḍī pero resulta difícil, dada la inexistencia de un texto árabe de la obra de Ibn Muᶜāḏ, comparar el texto de este último con el de al-ᶜUrḍī. Lo que está claro es que ambas versiones del procedimiento son independientes a la hora de efectuar sus cálculos aunque el resultado final es muy similar. Las conclusiones de Saliba contemplan la posibilidad de que el *De crepusculis* hubiese sido conocido en Oriente pero abren asimismo el interrogante de que ambas versiones puedan ser ecos de una obra anterior.

207 G. Saliba, «The Height of the Atmosphere According to Mu'ayyad al-Dīn al-ᶜUrḍī, Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī, and Ibn Muᶜāḏ». *From Deferent to Equant*, pp. 445-465.

CAPITULO 4

LAS CIENCIAS APLICADAS EN EL SIGLO DE ORO (1031-1086)

4.1 GENERALIDADES.

Si, en el capítulo anterior, me he ocupado, fundamentalmente, del auge que, en este período de cincuenta años, tiene la matemática y la astronomía, en el presente intentaré dar un esbozo del desarrollo de aquellas disciplinas que, pese a tener una fundamentación teórica, se caracterizan por estar encaminadas a una aplicación fundamentalmente práctica. Dentro de este conjunto tendré que insistir, ante todo, en el brillantísimo desarrollo que tienen, en esta etapa, los estudios agronómicos, los únicos que conocen un esplendor similar al de la astronomía y que parecen surgir prácticamente de la nada: en efecto, pese a que se ha podido rastrear sus orígenes ya en el siglo VIII (cf. *supra* § 1.2) y de que existen indicios claros de la existencia de textos agronómicos del siglo X, la gran eclosión de la agronomía se producirá precisamente en el período taifa. La fundamentación teórica de esta disciplina se verá claramente influida por la medicina y la botánica/farmacología, ciencias -- ambas -- que seguirán por las líneas de desarrollo que ya se apuntaban en el siglo anterior. Hace pocos años, por otra parte, que somos conscientes de la existencia de un importante tratado andalusí de ingeniería mecánica que, probablemente, se redactó durante este período y, por último, no puede olvidarse al misterioso seudo-Maslama autor de un

tratado de magia talismánica (*Gāyat al-ḥakīm, Picatrix*) y de un tratado de alquimia (*Rutbat al-ḥakīm*). En lo que respecta al famosísimo *Picatrix* lo mencionaré aquí no sólo por sus evidentes conexiones con la astronomía y la astrología y sus conexiones con las «ciencias naturales» (botánica y mineralogía), sino sobre todo por el carácter «tecnológico» de la filosofía de su autor. Si, como sabemos, un astrólogo pretende, ante todo, predecir el futuro, un mago que utiliza talismanes desea modificarlo y actuar sobre él. Podemos ilustrar esto con un par de ejemplos tomados de los *Cuentos de Canterbury* en los que, en el *Franklin's Tale*, el caballero Aurelius recurrirá a un mago para hacer desaparecer las rocas que dificultan la navegación por las costas de Bretaña con el fin de conquistar el amor de la bella Dorigen; del mismo modo, en el *Squire's Tale*, Chaucer nos refiere la llegada al palacio de Cambyuskian, rey de Tartaria, de un misterioso caballero portador de cuatro regalos: 1) un caballo de bronce, capaz de volar, que puede manejarse mediante un resorte situado en su lomo (caballo que constituye un tema literario de origen indio, es bien conocido por la literatura árabe, aflora en las literaturas occidentales y acaba cuajando en el Clavileño de Cervantes); 2) un espejo cuyas imágenes permiten distinguir amigos de enemigos; 3) un anillo cuyo portador podrá entender el lenguaje de las aves; y 4) una espada capaz de atravesar cualquier armadura así como de causar heridas incurables y de curar, por otra parte, las heridas que ella misma ha producido[1]. Al describir estos cuatro objetos, Chaucer relaciona explícitamente la magia talismánica con dos de ellos (caballo y anillo) mostrando, así, el vínculo existente entre magia y tecnología que tan patente resulta en el *Picatrix*. Son muy reveladoras las palabras que podemos leer al final del libro II en las que aparecen premoniciones casi proféticas sobre futuros desarrollos en los campos del control del clima, tecnología bélica y transportes:

> Del maestro Platón antes mencionado conozco dos obras denominadas Libro de las Leyes Mayor y Menor. En el Mayor menciona efectos terribles resultado de los talismanes construidos bajo la influencia de las constelaciones del cielo: andar sobre el agua, adoptar la figura de cual-

[1] Sobre Chaucer y la ciencia cf. J.D. North, *Chaucer's Universe*, Oxford, 1988.

> quier animal que se desee o una forma cualquiera inexistente en este mundo, *lograr que llueva en momentos en los que no cabe esperar lluvia así como impedir la caida de la misma*, hacer que surjan en el aire estrellas fugaces y cometas, y *que caigan los rayos en momentos inesperados, quemar los barcos enemigos o a cualquier persona que se desee desde una gran distancia, andar por el aire*, hacer que las estrellas salgan cuando no les corresponde y verlas caer desde su lugar en el cielo hacia el centro de la Tierra, hablar con los muertos, dividir el Sol y la Luna en multitud de fragmentos, hacer que bastones y cuerdas parezcan serpientes que comen lo que se les echa, *recorrer grandes distancias terrestres en un abrir y cerrar de ojos...*[2]

La preocupación que nuestro siglo XI manifiesta por la tecnología y las ciencias aplicadas se traduce asimismo en el desarrollo de las técnicas de navegación[3]. Con frecuencia se ha considerado que la aparición de la navegación astronómica es un hecho histórico muy tardío que suele identificarse con la época de los grandes descubrimientos del siglo XV. No obstante hay suficientes datos como para suponer que una navegación astronómica embrionaria debió existir ya en época muy antigua -- posiblemente desde el Bajo Imperio Romano -- y que las técnicas utilizadas fueron celosamente ocultadas por los que las practicaban. Algunos de estos indicios los encontramos en al-Andalus en el siglo XI y son los siguientes: 1) El *Almanaque* de Azarquiel (cf. § 3.3.2.3) contiene materiales susceptibles de aplicacio-

[2] Pseudo-Maǧrīṭī, *Das Ziel des Weisen. 1. Arabischer Text.* Herausgegeben von H. Ritter, Leipzig, 1933, 147. Véase también la versión latina alfonsí en ed. de D. Pingree, *Picatrix. The Latin Version of the Ghāyat al-Ḥakīm*, Londres, 1986, p. 88. Véase, a propósito de este texto E. Garin, *El Zodíaco de la Vida. La polémica astrológica del Trescientos al Quinientos*, trad. de A.P. Moya, Barcelona, 1981, p. 81.

[3] Resumo aquí las principales aportaciones, relativas al siglo XI de J. Vernet, «La navegación en la Alta Edad Media», *Settimane di Studi del Centro Italiano di Studi sull'Alto Medioevo* (Spoleto) 25 (1978), 323-388 (reproducido en E.H.C.M. pp. 383-448).

nes náuticas. Astrónomos, astrólogos y marinos podían saber día por día la longitud del Sol sin necesidad de cálculo alguno ni uso de instrumentos. A partir de su longitud, podía determinarse la declinación solar con la que se obtenía la latitud del lugar mediante una observación de la altura del Sol a su paso por el meridiano utilizando un astrolabio, cuadrante o una simple dioptra. 2) En el siglo XI los marinos andalusíes podían, tal vez, utilizar ampolletas o relojes de arena de un valor determinado (media hora, una hora), ya que el procedimiento de fabricación de un vidrio que resultara inalterable con el transcurso del tiempo, cualesquiera que fueran las circunstancias meteorológicas, era conocido desde el siglo X por los egipcios y los catalanes. 3) Desde el siglo X se estaban levantando los primeros derroteros del Mediterráneo, entendiendo por derrotero una descripción hidrográfica de la cuenca de un mar con anotación sistemática de distancias y de rumbos. El primer derrotero conocido en la Europa Occidental es el fragmento en que Adam de Bremen (fl. 1069) describe la derrota que, desde Flandes, lleva a la Tierra Santa: en él se asocian sistemáticamente por primera vez rumbo y tiempo (= distancia). Por estas mismas fechas el geógrafo andalusí al-Bakrī (m. 1094) en su obra *Kitāb al-masālik wa-l-mamālik*, terminada en 1068 y conservada fragmentariamente[4], describe las costas marroquíes y españolas afirmando que una serie de puertos de Africa están *enfrente* de otros tantos españoles. Los detalles de esta descripción no pueden explicarse, de modo exclusivo, por la visión de accidentes topográficos de ambas costas desde el centro del trayecto ni por la utilización de observaciones astronómicas. Es forzoso admitir que la descripción de al-Bakrī se debió hacer con ayuda de una brújula. Parece, pues, claro que desde el siglo XI, por lo menos, se conocía la brújula y que en esta época se estaban levantando los derroteros del Mediterráneo Occidental. Por otra parte, los marinos andalusíes del siglo XI no se limitaron a navegar por el Mediterráneo y, al igual que sus predecesores de los siglos IX y X, se aventuraron también por el Atlántico: tenemos, al respecto, el testimonio de al-Idrīsī (m. 1166) acerca de la célebre navegación de los *mugarrirūn* los cuales, en la primera mitad del siglo XI, partieron de Lisboa para llegar a unas islas atlánticas que, probablemente, pueden identificarse con las Canarias; por otra parte, un pasaje de al-ᶜUḏrī (m. 1085),

[4] Un estado de la cuestión de los estudios sobre este autor puede verse en J. Vernet, «al-Bakrī», *D.S.B.* I (1970), 413-414. Cf. también ᶜAbd Allāh Yūsuf al-Ganīm, *Maṣādir al-Bakrī wa-manhaǧu-hu al-ǧugrāfī*, Kuwayt, 1974.

recogido por al-Qazwīnī (m. 1283), nos da toda suerte de detalles acerca de una pesca de ballenatos en las costas de Irlanda[5].

4.2 LA INGENIERIA MECANICA: EL TRATADO DE AUTOMATAS DE IBN JALAF AL-MURĀDĪ.

4.2.1 GENERALIDADES

La existencia en al-Andalus de una tradición de ingeniería mecánica, similar a la que representan, en Oriente, los tratados de *ᶜilm al-ḥiyal* («ciencia de los ingenios»), estaba hasta hace poco escasamente documentada. Sólo disponíamos de la referencia a la clepsidra con autómatas construida por ᶜAbbās ibn Firnās (cf. § 2.2) y del relato que nos hace el geógrafo al-Zuhrī[6] -- en un contexto muy poco científico -- acerca de las clepsidras construidas en Toledo por Abū-l-Qāsim b. ᶜAbd al-Raḥmān conocido como [ibn] al-Zarqāl[7]. El texto nos refiere que estas clepsidras fueron construidas en una habitación situada junto al Tajo en el lugar conocido como Bāb al-Dabbāgīn (Puerta de los Tintoreros) y sólo de manera muy indirecta alude a que su función fuera la de marcar las horas desiguales del día y de la noche. Lo que más le interesa a al-Zuhrī es aludir a su función como calendario mensual: el día primero del mes lunar (cuando el creciente era visible) empezaba a brotar agua en los depósitos llenándose, cada día una catorceava parte de su capacidad total, hasta que éstos estaban totalmente llenos en el día catorce del ciclo (luna llena). Durante el resto del mes el proceso seguía a la inversa: cada veinticuatro horas las albercas se vaciaban un catorce-

[5] Véase una traducción castellana anotada de estos textos en J. Vernet, «Textos árabes de viajes por el Atlántico», *Anuario de Estudios Atlánticos* (Madrid-Las Palmas) 17 (1971), 401-427 (cf. especialmente pp. 407-411). Reproducido en AR1I2 pp. 197-223.

[6] Al-Zuhrī, «Kitāb al-Djaᶜrāfiyya», ed. de M. Hadj-Sadok en *Bulletin d'Etudes Orientales* (Damas) 21 (1968), 83-85. Texto reproducido por Maqqarī, *Nafḥ* ed. I. ᶜAbbās I, 206-207. Cf. la traducción castellana de Millás, *Estudios sobre Azarquiel* (Madrid-Granada, 1943-50) pp. 7-9 y en D. Bramon, *El mundo en el siglo XII. El tratado de al-Zuhrī*, Barcelona, 1991, pp. 146-147 y 246-247.

[7] Vernet, «Mármol, obra de Zarquel» (en AR1I2 p. 299) llama la atención sobre las anomalías que presenta esta forma de denominar a Azarquiel que, normalmente, es llamado Abū Isḥāq Ibrāhīm b. Yaḥyà.

avo de su capacidad y el día 29 del mes se encontraban totalmente vacías (luna nueva).

Sea auténtico o no el relato de al-Zuhrī[8], parece cierto que la construcción de una clepsidra de estas características estaba al alcance de los andalusíes del siglo XI[9]. Esto puede afirmarse a la vista del descubrimiento del *Kitāb al-asrār fī natā'iŷ al-afkār* («Libro de los secretos acerca de los resultados de los pensamientos») conservado en el manuscrito Or. 152 de la Biblioteca Medicea-Laurenziana de Florencia. Este manuscrito se encuentra notablemente mutilado ya que todos sus folios aparecen guillotinados por una de sus esquinas, razón por la cual conservamos únicamente un sesenta por ciento del total del texto lo que hace imposible cualquier intento de editarlo o traducirlo. Ya que el manuscrito contiene asimismo dos obras de Ibn Mu^{c}ād (su tratado de trigonometría y una epístola sobre la proyección de rayos) se creyó, en un principio, que este matemático y astrónomo -- del que tanto he hablado en el capítulo 3 -- sería el autor del *Kitāb al-asrār*. La lectura del prólogo, mutilado como el resto del texto, permitió leer parte del nombre del autor que sería un tal *...m.d* (¿Aḥmad o Muḥammad?) ibn Jalaf al-Murādī el cual dedica el libro a un amigo suyo, en vista de la decadencia que sufre la ingeniería (^{c}*ilm al-handasa*) en su tiempo. En él diseñará modelos mecánicos, con explicaciones y diagramas gracias a los cuales un buen artesano podrá construirlos en un momento determinado[10].

[8] En cualquier caso, Ibn Bāŷŷa (¿1070?-1138, cf. *infra* § 5.3 y 5.4), casi contemporáneo de Azarquiel, le atribuye dos inventos: la azafea (cf. *supra* § 3.3.3.3) y la *mīkāna* término que, con frecuencia, designa las clepsidras con autómatas. Cf. Ŷ. al-^{c}Alawī, *Rasā'il falsafiyya li-Abī Bakr ibn Bāŷŷa*. Beirut-Casablanca, 1983, p. 187.

[9] Según me comunicó el Dr. Donald Hill en una conversación mantenida en Enero de 1989: el Dr. Hill se ofreció a reconstruir las clepsidras de Azarquiel utilizando mecanismos documentados en textos de la época.

[10] Citaré la bibliografía básica de los estudios sobre este texto por orden cronológico de publicación: D.R. Hill, «A Treatise on Machines by Ibn Mu^{c}ādh Abū ^{c}Abd Allāh al-Jayyānī», *Journal for the History of Arabic Science* 1 (1977), 33-44; A.I. Sabra, «A Note on Codex Medicea-Laurenziana Or. 152», *J.H.A.S.* 1 (1977), 276-283; M.V. Villuendas, «A Further Note on a Mechanical Treatise Contained in Codex Medicea Laurenziana Or. 152», *J.H.A.S.* 2 (1978), 395-396; J. Vernet, «Un texto árabe de la corte de Alfonso X el Sabio», *Al-Andalus* 43 (1978), 405-421 (reproducido en AR1I2, 301-317); D.R. Hill, *Arabic Water-Clocks* (Aleppo, 1981) pp. 33-45; R. Casals, «Consideraciones sobre algunos mecanismos árabes», *Al-Qanṭara* 3 (1982), 333-345; J. Vernet, R. Casals y M.V. Villuendas, «El capítulo primero del Kitāb al-asrār fī natā'iŷ al-afkār». *Awrāq* 5-6 (1982-83), 7-18; D.R. Hill, «Tecnolo-

Ninguno de los intentos que se han realizado para identificar a Ibn Jalaf al-Murādī han resultado convincentes. Se trata, con toda probabilidad de un autor andalusí ya que: 1) la *nisba* al-Murādī es corriente en fuentes hispánicas de los siglos X y XI; 2) el texto cita el pasaje de la *balāṭa* de Ibn al-Ṣaffār del que me he ocupado en § 2.5.2.4; 3) como veremos más adelante, algunos de los modelos mecánicos utilizan mercurio, lo que resulta más normal en la Península Ibérica -- en la que las minas de Almadén se han explotado desde época romana -- que en el Norte de Africa u Oriente[11]; 4) Hill ha insistido en el hecho de que el *Kitāb al-asrār* pertenece a una tradición mecánica distinta de la oriental y resulta, así, independiente de obras como el tratado seudo-arquimédeo sobre la construcción de clepsidras[12], el libro de *ḥiyal* de los Banū Mūsà (s. IX)[13] y, mucho más tarde, el tratado de mecánica de al-Ŷazarī (1206)[14]. Los rasgos anteriores apuntan a un autor andalusí y coinciden con un país en el que la producción científica oriental fue conocida sólo parcialmente. Por otra parte el autor, al ocuparse del tema de la graduación de una clepsidra alude a una duración del día de 15 horas en el solsticio de verano, lo que corresponde a una latitud de 40°, precisamente la que las fuentes andalusíes suelen atribuir a Toledo. La aparición en el texto de una cita de Ibn al-Ṣaffār (m. 1035) y la posibilidad de que el *Kitāb al-asrār* haya sido redactado en Toledo (conquistada por Alfonso VI en 1085) hace pensar en un autor andalusí de mediados del siglo XI. Creo que, por el momento, esta es la

gía andalusí», L.C.A. pp. 162-172 (con abundantes fotografías en color de los diagramas que aparecen en este manuscrito). Cf. también L.C.A. pp. 304-309.

[11] He mencionado ya (§ 2.2) el célebre estanque de mercurio que tenía ᶜAbd al-Raḥmān III en Medina Azara. Este argumento no tiene, por sí sólo, fuerza demostrativa: J. Vernet («Alfonso el Sabio y la mecánica», *Boletín de la Real Academia de la Historia* 185 (1988), 36. Reproducido en AR1I2 p. 338) llama la atención sobre un tratado anónimo, en el que se describen mecanismos para elevar agua e ingenios similares, redactado probablemente en el Iraq, en el que aparece también una referencia al mercurio.

[12] D.R. Hill, *On the Construction of Water-Clocks.* Kitāb Arshimīdas fī ᶜamal al-binkamāt, Londres, 1976.

[13] D.R. Hill, *The Book of Ingenious Devices, an annotated translation of the treatise of the Banū Mūsā*, Dordrecht, 1979.

[14] D.R. Hill, *The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices, an annotated translation of al-Jazarī's treatise*, Dordrecht, 1974.

mejor hipótesis que puede formularse mientras no aparezcan nuevas evidencias que la confirmen o refuten.

4.2.2 UNA DIGRESION SOBRE EL MANUSCRITO.

El manuscrito Or. 152 tiene, por otra parte, un interés muy especial: en él tanto la copia del *Kitāb al-asrār* como la del tratado de Ibn Muᶜāḏ sobre la proyección de rayos (*Maṭraḥ al-šuᶜāᶜāt*) están fechadas en Toledo durante el reinado de Alfonso X (1252-1284): la primera en el año 1304 de la Era Hispánica/ 1266 de J.C., y la segunda en 1233 E.H./ 1265 de J.C. Por otra parte, el códice nos ha conservado una nota (fol. 75) escrita, en aljamiado hebraico-árabe, de puño y letra de Rabbí Isḥâq b. Sīd (Rabiçag), el principal colaborador científico del rey Alfonso. En ella Rabiçag manifiesta lo siguiente[15]:

> He descrito aquellos aparatos que se mueven por sí mismos, aparatos que sabemos que existen por propia experiencia. He utilizado en este tratado las instrucciones atribuidas a Seth y he comprobado que son exactas. Sólo existía un manuscrito original pero, a partir de ahora, nada impedirá construir todos estos aparatos, excepto aquellos que me ha sido imposible reconstruir por no estar el original completo o existir en algún caso discrepancias insalvables. No se ha realizado ningún modelo cuya construcción no estuviera claramente expuesta; pero sí he construido otros cuyos errores he conseguido salvar, describiéndolos aquí de modo claro».

Lo anterior confirma que el manuscrito Or. 152, hasta el fol. 105, fue copiado en la corte del rey Alfonso y que por lo menos una parte del mismo estuvo entre las manos de Rabiçag. Para determinar a qué obra mecánica se refiere el colaborador del rey Alfonso conviene aclarar que el misceláneo florentino contiene, hasta el fol. 105 antes citado, las obras siguientes:

[15] Transcribo la traducción de J. Vernet, «Un texto árabe» pp. 408-409.

1) *Kitāb al-asrār.*

2) Tratado de trigonometría esférica de Ibn Muᶜāḏ.

3) Tratado de Ibn Muᶜāḏ sobre la proyección de rayos.

4) *Kitāb al-dawālīb wa-l-arḥā' wa-l-dawā'is al-mutaḥarrika min tilqā' ḏāti-hā* («Libro sobre ruedas hidráulicas, molinos y prensas que se mueven por sí mismos»)[16].

5) El tratado de Ibn al-Haytam sobre espejos ustorios paraboloides.

6) Un breve texto, probablemente también de Ibn al-Haytam, sobre el trazado de secciones cónicas en un plano por medios mecánicos.

7) El tratado sobre los espejos atribuido a Euclides.

El texto de Rabiçag que antes he reproducido se encuentra intercalado entre los tratados 2) y 3) pero su contenido sólo puede aludir al tratado 1) o al 4), ya que son los únicos que se ocupan de mecánica en todo el códice. Resulta, sin duda, difícil optar entre estos dos textos, dada la imprecisión de la nota de Rabiçag, pero su referencia a «aparatos que se mueven por sí mismos» hace pensar en el título del tratado 4) que es, probablemente, el aludido. Esto explicaría un hecho curioso: los estudios realizados hasta el momento sobre el *Kitāb al-asrār* no han podido establecer con claridad relación de dependencia alguna entre los tratados alfonsíes sobre relojes (todos los cuales fueron escritos por Rabiçag, con la excepción del *Relogio de la candela*, debido a Samuel ha-Leví)[17] y la obra de Ibn Jalaf al-Murādī. Si Rabiçag hubiera reconstruido la casi totalidad de los modelos de al-Murādī es probable que se hubiera visto influido por las ideas de éste.

[16] Analizado por J. Vernet, «Alfonso el Sabio y la Mecánica», *Boletín de la Real Academia de la Historia* 185 (1988), 29-38 (reproducido en AR1I2 pp. 331-340).

[17] Falta un estudio sistemático de los relojes alfonsíes. Cf., no obstante, J.A. Sánchez Pérez, *La personalidad científica y los relojes de Alfonso X el Sabio.* Academia Alfonso X el Sabio, Murcia, 1955; D.R. Hill, *Arabic Water-Clocks* pp. 126-130 (sobre la clepsidra alfonsí); D.R. Hill, «Tecnología andalusí», L.C.A. pp. 169-170.

4.2.3 EL CONTENIDO DEL «KITĀB AL-ASRĀR»

El *Kitāb al-asrār* describe treinta y un tipos distintos de artificios mecánicos con la excepción del último de los mismos que corresponde a un cuadrante solar horizontal del tipo denominado, en Oriente, *šāmila* o *musātara*, cuya invención se atribuye al astrónomo oriental al-Juŷandī (siglo X): pese a ello, Ibn Jalaf al-Murādī lo denomina «un tipo de *balāṭa*» y D.A. King considera que puede tratarse de un diseño independiente de la tradición oriental[18]. Esto confirma la idea de Hill de que Ibn Jalaf tiene mentalidad de geómetra y matemático mucho más que de ingeniero y coincide con lo que cabe esperar en un siglo XI andalusí, caracterizado por un brillante desarrollo de las ciencias exactas. En los treinta artificios propiamente mecánicos, el autor empieza por describir -- en tres o cuatro líneas -- el movimiento de los autómatas y se ocupa, a continuación, del modelo mecánico al que alude en términos geométricos.

Entre los modelos descritos hay simples juguetes pero también relojes y máquinas de guerra. Tanto los juguetes como buena parte de los relojes llevan autómatas y existen modelos con una sola figura, con dos, seis, doce y hasta veinticuatro. Estas figuras son astrólogos provistos del correspondiente astrolabio, muchachas, caballeros, infantes, un ciego, un negro, gacelas, serpientes, un perro, puertas, espejos y velas. El transcurso de una hora produce el movimiento de los autómatas en los relojes. El dramatismo de algunas de las acciones descritas puede juzgarse por los personajes que intervienen en la máquina número 1, la única cuya reconstrucción completa ha sido publicada hasta el momento[19], en la que aparecen 8 muchachas, 4 gacelas, 3 serpientes y un negro: las muchachas se encuentran en sus pabellones y salen en el momento en el que las gacelas estiran el cuello pero, inmediatamente, sale un negro, provisto de una espada, de un agujero situado en el centro de la caja y sólo se oculta cuando aparecen las serpientes. El interés por la astrología -- una constante en los relojes alfonsíes -- surge esporá-

[18] D.A. King, «Three Sundials from Islamic Andalusia», *Journal for the History of Arabic Science* 2 (1978), 368.

[19] Cf. Vernet-Casals-Villuendas, «El capítulo primero» ya cit. Esta máquina, por otra parte, ha sido reconstruida por E. Farré para el Instituto de Cooperación con el Mundo Arabe: cf. L.C.A. p. 309. En esta reconstrucción, las muchachas son dos en lugar de ocho.

dicamente, tal como sucede en la máquina número 15 que permite determinar automáticamente las cúspides de las casas I y VII.

Casals ha establecido ciertos rasgos fundamentales del funcionamiento de las máquinas 1-5. En todas ellas la fuerza motriz deriva del agua. En el caso de la máquina 1, se utiliza la energía potencial de una masa de agua situada a un cierto nivel, que se transforma en movimiento mediante el uso de balanzas. Este sistema se utiliza en diversas secuencias de la acción: en unos casos la balanza va provista de un platillo, que se va llenando progresivamente de agua, y de una pesa que contrarresta la masa del platillo y la del agua recibida. Cuando la masa del platillo y la del agua resulte mayor que la de la pesa, la balanza basculará y se utilizará su movimiento para hacer mover un autómata. En el segundo tipo de balanza, ésta se encuentra provista de dos platillos que se llenan, alternativamente, de agua con lo que la balanza debe, en principio, oscilar con mucha frecuencia ya que se encuentra constantemente desequilibrada. Una solución ingeniosa permite a Ibn Jalaf regular el período de oscilación de la balanza: describe un tubo, parcialmente lleno de mercurio, solidario con los brazos de la balanza. Este tubo es arrastrado por la oscilación de ésta, con lo que la masa de mercurio se desplaza hacia el platillo que contiene una mayor cantidad de agua e impide que, al llenarse el otro platillo, se cree inmediatamente un nuevo desequilibrio, permitiendo al artesano que construye la máquina adecuar el período de oscilación al tiempo requerido por la «acción dramática» del juguete: a principios del siglo XIII el oriental al-Ŷazarī utilizará, con la misma finalidad, una bola de plomo que se desplaza también a lo largo de un tubo solidario con los brazos de la balanza.

En las máquinas 2-5, el eje principal es arrastrado por una rueda hidráulica: en unos casos esta rueda va provista de cangilones que se van llenando progresivamente del agua procedente de un caño situado a una cierta altura. A medida que un cangilón se llena, se desplaza hacia abajo, produciendo el giro de la rueda y permitiendo que se llene el cangilón inmediatamente superior. Vemos, pues, que la rueda hidráulica funciona, en este caso, a la inversa de una noria fluvial. En otros casos, en cambio, la rueda no lleva cangilones sino paletas que son arrastradas por una corriente de agua de manera también inversa a las antiguas ruedas de palas de los barcos fluviales. Vemos, pues, que Ibn Jalaf varía el diseño de la noria según la intensidad de la corriente de agua de que dispone. A este respecto

Hill ha llamado la atención sobre el interés que presenta el modelo número 5 que utiliza como fuente de energía una noria con paletas situada fuera de la máquina: este mecanismo recuerda mucho al del gran reloj astronómico del ingeniero chino Su-Sung[20], construido en 1088, o sea en una época muy próxima a aquella en la que supongo que vivió Ibn Jalaf. Por otra parte tiene un enorme interés el sistema de engranajes utilizado en este modelo ya que es mucho más complejo que cualquier otro sistema de engranajes anterior conocido hasta la fecha.

Casals ha llamado también la atención sobre otras soluciones ingeniosas a problemas concretos planteados, por ejemplo, por el uso de la energía proporcionada por una única rueda hidráulica para hacer mover, alternativamente, a dos autómatas, crear períodos de reposo en el movimiento de éstos y obtener movimientos alternativos. Uno de los mecanismos descritos, precursor del mecanismo biela-manivela, es el siguiente: un disco solidario del eje motor, arrastrado por la rueda hidráulica, tiene dentada sólo una parte de su circunferencia. A ambos lados de este disco se encuentran dos piñones que engranarán alternativamente con la parte dentada pudiendo crearse períodos de movimiento y de reposo de dos autómatas distintos. Por otra parte si se desea que un autómata se desplace en dos sentidos contrarios, basta con hacer que un peso sea izado por el eje de uno de los dos piñones. Cuando el piñón quede libre por no engranar ya con el sector dentado, el peso empezará a caer haciendo girar al piñón en sentido contrario al de su giro anterior.

Hemos visto que las máquinas 1-5 son, prácticamente, grandes juguetes semejantes a relojes en los que unos autómatas se mueven a intervalos no muy precisos. Los modelos 6-20 y 27-30 son, en cambio, clepsidras que registran el transcurso de las horas temporales por el movimiento de autómatas. Los modelos 6 (24 puertas, 12 de las cuales son recorridas por una muchacha durante las horas diurnas), 9 (24 espejos que brillan sucesivamente a medida que transcurre el día), 8 (12 muchachas) y 29 (12 velas encendidas que se apagan sucesivamente a medida que transcurren las horas) hacen pensar a Vernet en el reloj enviado por Hārūn al-Rašīd a Carlomagno el cual, según explica Einhard (c. 770-840), consistía en «un artístico y valioso reloj de bronce que se movía a lo largo de doce horas me-

[20] J. Needham, *Science and Civilisation in China.* IV-2 (Cambridge, 1965) pp. 447-465.

diante una clepsidra; contenía muchas bolas de bronce que iban cayendo con el transcurso de las horas y hacían sonar un címbalo horizontal; tenía además doce caballeros que al final de cada una de las horas salían por doce ventanas a las que abrían al ponerse en movimiento». Finalmente, los modelos 21-24 son máquinas de guerra en forma de torres que pueden alzarse y bajarse, mientras que los números 25 y 26 son mecanismos para elevar el agua de los pozos.

La breve descripción anterior basta para poner de manifiesto el enorme interés que presenta el *Kitāb al-asrār*, primer eslabón conocido de una tradición mecánica islámica occidental que se verá continuada, más adelante, tanto el el Norte de Africa como en Europa y que se caracterizará, según Hill, por la utilización de grandes máquinas con poderosas fuerzas motrices y una cierta rudeza en los mecanismos (cuerdas gruesas en lugar de cordones, ruedas de hasta tres palmos de diámetro, pesas de hasta tres kilos etc.) frente a la tradición oriental representada por la obra de los Banū Mūsà[21] y por al-Ŷazarī, caracterizada por el uso de mecanismos delicados y controles sutiles, hidráulicos y neumáticos.

4.3 ALQUIMIA Y MAGIA EN LA OBRA DEL SEUDO-MASLAMA.

4.3.1 GENERALIDADES: AUTOR Y PROBLEMAS DE CRONOLOGIA.

Parece que la época taifa sea el momento en que alquimia y magia adquieren pleno desarrollo por más que puedan rastrearse los orígenes de la primera de ellas en la segunda mitad del siglo X, por lo menos[22]. Según la cronología habitualmente aceptada, hacia mediados de siglo surgen dos obras tituladas *Rutbat al-ḥakīm* («El rango del sabio») y *Gāyat al-ḥakīm* («La aspiración del sabio») ambas atribuidas por la tradición manuscrita al célebre matemático y astrónomo Maslama de Madrid (cf. § 2.5.2). Esta atribución fue aceptada

[21] Ṣā^{c}id de Toledo (*Ṭabaqāt* ed. Bū ^{c}Alwān p. 142; trad. Blachère p. 110) se refiere a sus curiosos tratados sobre mecánica que eran célebres entre el público. Cabe preguntarse si eran conocidos en al-Andalus.

[22] J. Vernet, «La Alquimia», *Historia de la Ciencia Arabe* (Madrid, 1981), p. 176.

hasta que Holmyard[23] llamó la atención sobre las numerosas anomalías que implicaba. En primer lugar es tardía: remonta al alquimista egipcio al-Ŷildakī (m. poco después de 1360) y fue extraordinariamente popularizada por el historiador Ibn Jaldūn (1332-1382). En segundo lugar, en el prólogo de la *Rutba*, el autor afirma haber escrito este libro debido a la ignorancia de sus contemporáneos y al lamentable estado en que había caido la ciencia desde el comienzo de la *fitna*. Ahora bien, si entendemos por *fitna* la etapa de anarquía que acabó con la dinastía de los Omeyas en al-Andalus, debe considerarse que este período corresponde al 1009-1031 y, por consiguiente, debe descartarse la atribución a Maslama que murió en el año 398/ 1007. El argumento es válido no sólo para la *Rutba* sino también para la *Gāya* ya que el prólogo de esta última afirma explícitamente que su autor la escribió inmediatamente después de haber concluido la *Rutba*[24]. Un segundo argumento de peso ha sido expuesto por W. Hartner: hay en la *Gāya* un tal desconocimiento de la matemática y de la astronomía elementales que no puede, en modo alguno, pensarse en Maslama[25]. Un conato de solución del problema ha sido propuesto más recientemente por Fuat Sezgin[26]: estos dos escritos apócrifos habrían sido escritos por un tal Abū Maslama Muḥammad al-Maŷrīṭī (su nombre se confundió con el de Abū-l-Qāsim Maslama al-Maŷrīṭī) y por su discípulo Muḥammad ibn Bišrūn (vivía aún en 1058).

Resulta muy probable el que Ibn Bišrūn estuviera, de una u otra manera, relacionado con la redacción de la *Rutba* si debemos creer el testimonio de Ibn Jaldūn el cual, en su *Muqaddima*, nos conserva una epístola de este autor dirigida al astrónomo Ibn al-Samḥ (cf. § 2.5.2) en la que resume la doctrina alquímica de aquella. Dado que Ibn al-Samḥ murió en 1035, parece que debe concluirse que la *Rutba* debió ser redactada entre 1009 (comienzo de la *fitna*) y 1035. Ahora bien, esta cronología contradice la que nos proporcionan los mismos ma-

[23] E.J. Holmyard, «Maslama al-Majrīṭī and the Rutbatu'l-Ḥakīm», *Isis* 6 (1924), 293-305. Véase también (expone opiniones más matizadas) su libro *Alchemy* (Penguin Books. Harmondsworth, Middlesex, 1957) pp. 100-102.

[24] Cf. Pseudo-Maǧrīṭī, *Das Ziel des Weisen. 1. Arabischer Text.* Herausgegeben von H. Ritter, Leipzig, 1933, p. 1.

[25] W. Hartner, «Notes on Picatrix», *Oriens-Occidens* (Hildesheim, 1968), 415-428.

[26] Sezgin, *G.A.S.* IV, 294-298.

nuscritos de esta obra en algunos de los cuales se afirma que la *Rutba* se compuso entre 339-342 H./ 950-953, mientras que en otros las fechas citadas son 439-442 H./ 1047-1050. La primera de estas dos series de fechas es, sin duda, rechazable de entrada ya que la *Rutba* contiene numerosas citas de la famosa *Enciclopedia* (oriental) *de los Hermanos de la Pureza* (*Rasā'il Iǰwān al-Ṣafā'*) cuya composición se extendió a lo largo de un período de tiempo muy largo (entre 297/909 y 354/965) y su introducción en al-Andalus la llevó a cabo Maslama al-Maŷrīṭī avanzada la segunda mitad del siglo X, o bien al-Kirmānī (m. 1066) ya en el siglo XI[27]. La cuestión se complica si tenemos en cuenta que los manuscritos de la *Gāya* dan como fechas de composición de esta obra la etapa 343-348 H./ 954-959, que su editor y traductor H. Ritter propone corregir en 443-448/ 1052-1056. El problema, como puede verse, es enormemente confuso y, como mera hipótesis, puede pensarse que ambas obras se debieron redactar a mediados del siglo XI y que la epístola de Ibn Bišrūn dirigida a Ibn al-Samḥ debía ser un esquema de la *Rutba* más que un resumen de la misma.

4.3.2 EL CONTENIDO DE LA «RUTBA».

La *Rutbat al-ḥakīm*, desgraciadamente aún inédita, es la primera obra alquímica andalusí que conservamos, por más que tengamos indicios de que, en época de al-Ḥakam II (961-975), desarrollara su actividad el alquimista ᶜAbd Allāh b. Muḥammad llamado al-Sārī y debieron existir en Córdoba laboratorios de alquimista a fines del siglo X ya que tenemos la descripción de uno de ellos, que nos ofrece el gran escritor Ibn Šuhayd (m. 1035) al hablar del que tenía su amigo Abū ᶜAbd Allāh al-Faraḍī: «una habitación ennegrecida, llena de vapores que parecían pedazos y en los cuales se percibía el olor hediondo del arsénico, del azufre, del cinabrio y de la sarcóco-

[27] Y. Marquet, «Ikhwān al-Ṣafā'». *E.I.*[2] III, 1099-1100; E. García Gómez, «Alusiones a los "Iǰwān al-Ṣafā'" en la poesía arábigoandaluza». *Al-Andalus* 4 (1936-39), 462-465.

la»[28]. Pese a ello pronto se descubre que el pretendido laboratorio no era otra cosa que un taller para la fabricación de moneda falsa.

En un ambiente sin duda interesado por el tema surge la *Rutba*, obra de un lector infatigable, que demuestra interés por la obra de Euclides, Ptolomeo y Aristóteles cuya lectura exige al aprendiz de alquimista: probablemente la mención de Ptolomeo se debe a la relación existente entre alquimia, magia talismánica (cita a Hermes y a Apolonio de Tiana) y práctica astrológica (El *Libro de los Miles* de Abū Maᶜšar es otra de sus fuentes). Entre sus fuentes propiamente alquímicas la *Rutba* cita a Hermes, Demócrito, Ostanes, Agathodemon, Zósimo, María la Copta, Jālid ibn Yazīd (m. c. 704), Ḏū-l-Nūn (796-859), Ŷābir ibn Ḥayyān (m.c. 815), Muḥammad ibn Zakariyyā' al-Rāzī (m. 925) e Ibn Waḫšiyya (probablemente seudónimo de Abū Ṭālib al-Zayyāt m.c. 951). La omisión más notable en esta lista es la de Avicena (980-1037) cuya obra no debía estar muy divulgada en al-Andalus en esta época (no la cita Ṣāᶜid, aunque sí Ibn Wāfid e Ibn Buklāriš como fuente de su obra farmacológica[29]). La influencia más notable es, sin duda, la del corpus ŷābiriano pero conviene señalar que la *Rutba* que tiene, amén de un aspecto teórico, otro marcadamente práctico, parece haber asimilado información no sólo de carácter libresco sino también del mundo de los artesanos (drogueros, perfumistas, mineros etc.): su autor afirma, por ejemplo, que una de las causas que le llevaron a redactar su obra fue el constatar que sus contemporáneos sabían muy poco acerca de los metales, sus reacciones recíprocas al entrar en contacto unos con otros así como sus propiedades en lo que respecta a su maleabilidad y ductilidad, mientras que la gente vulgar (= ¿artesanos?) tenía este tipo de conocimientos.

La única fuente de información elaborada de que disponemos acerca de la *Rutba* es el resumen de su contenido elaborado por Holmyard. En él se destaca su parte teórica, en la que se defiende la

[28] Ibn Bassām, *Ḏajīra* ed. I. ᶜAbbās I, 220-222; trad. inglesa de J. Dickie, *Ibn Šuhayd. A biographical and critical study. Al-Andalus* 29 (1964), 274-276; trad. castellana de J. Vernet, «Alquimia» pp. 165-167.

[29] La cita de Avicena por Ibn Buklāriš es sospechosa ya que no aparece en alguno de los manuscritos conservados. Cf. A. Labarta, «La Farmacología de Ibn Buklāriš: sus fuentes», *Actas del IV Coloquio Hispano-Tunecino. Palma de Mallorca, 1979* (Madrid, 1983), 163-174 (cf. p. 165). El caso de Ibn Wāfid resulta, en cambio, más claro: cf. C. Alvarez de Morales, «La medicina hispano-árabe en el siglo XI, a través de la obra del toledano Ibn Wāfid», *Actas del IV Coloquio Hispano-Tunecino*, 29-41 (cf. pp. 38-39).

posibilidad de la transmutación de los metales y se invita al lector a experimentar para lograrla, sometiendo los cuerpos metálicos a la acción del fuego. Uno de los experimentos que refiere tiene el mayor interés: calentando mercurio a fuego muy lento durante cuatro días obtiene un polvillo rojo (óxido de mercurio) sin que, a lo largo de la experiencia, el mercurio haya perdido peso. Este tipo de experimentos fue llevado a cabo con enorme éxito en el siglo XVIII por Lavoisier. Este interés por el trabajo de laboratorio es, quizás, el aspecto más interesante de la *Rutba* la cual describe, por ejemplo, toda una serie de procedimientos para separar el oro y la plata de las gangas que les acompañan mencionando, entre otros, el de la copelación que permite separar la plata del plomo o del cobre y el oro del cobre. Ello indica hasta qué punto la alquimia andalusí del siglo XI no se limitaba a ser una mera lucubración teórica acerca de la posibilidad de la transmutación sino que insistía en someterse a una disciplina de laboratorio.

4.3.3 LA MAGIA TALISMANICA EN LA «GĀYA».

Mucho mejor conocida es la *Gāyat al-ḥakīm* que, a partir del momento en que fue traducida al castellano y al latín por orden de Alfonso X, ejerció una gran influencia en Europa hasta bien entrado el Renacimiento[30]. La versión latina, la única traducción que conservamos integramente, atribuye la autoría de la obra al «sapientissimus

[30] Cf., p.ej., D. Pingree, «The Diffusion of Arabic Magical Texts in Western Europe», *La diffusione delle scienze islamiche nel Medio Evo europeo*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 1987, pp. 57-102; F. Yates, *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition*, Londres, 1964, 64-72; sobre los ecos del *Picatrix* en el Renacimiento pueden leerse multitud de ensayos de E. Garin recogidos, entre otras publicaciones, en *El Zodíaco de la vida. La polémica astrológica del Trescientos al Quinientos*. Barcelona, 1981; *Medioevo y Renacimiento. Estudios e investigaciones*. Madrid, 1981; *La revolución cultural del Renacimiento*. Barcelona, 1981. Sobre los restos conservados de la versión castellana alfonsí del *Picatrix* en el manuscrito Reginensis Vaticano 1283 cf. G. Solalinde, «Alfonso X astrólogo. Noticia del manuscrito vaticano Reg. lat. núm. 1283», *Revista de Filología Española* 12 (1926), 350-356; A. D'Agostino, *Il «Libro sulla magia dei segni» ed altri studi di Filologia spagnola*, Brescia, 1979, pp. 21-64; D. Pingree, «Between the *Ghāya* and *Picatrix*. The Spanish Version», *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes* 44 (1981), 27-56; M. Forcada, «El *Picatrix*, fuente del *Lapidario*, O.E.Y.A.F., 209-220.

philosophus *Picatrix*»[31], nombre con el que se ha popularizado la *Gāya*. El término *Picatrix* ha sido objeto de varios conatos de explicación, ninguno de los cuales resulta plenamente satisfactorio: Plessner supuso, en un principio, que se trataba de una deformación de *Hipócrates* hasta que constató que el nombre del célebre médico griego aparecía en el texto árabe bajo la forma habitual *Buqrāṭ* sugiriendo entonces que *Picatrix* podía derivar de un *Buqrāṭīs* o *Biqrāṭīs* a quien se atribuye la traducción del *Kitāb tafsīr al-ṭilasmāt al-rūḥāniyya* («Explicación de los talismanes espirituales») de Qrīṭūn (¿Critón?). También se ha apuntado que Critón y Buqrāṭīs sean una única autoridad y que puedan identificarse con las dos variantes del nombre *Harpokration*, redactor del *Kyranis*. Finalmente, en fecha más reciente, Sezgin piensa en una deformación de la *kunya* de Abū-l-Qāsim Maslama al-Maŷrīṭī en la que *Abū-l-Qāsim* > *Bucasis* > *Picatrix*[32].

La *Gāya* es, fundamentalmente, un tratado de magia talismánica y la mejor caracterización, en pocas palabras, de este arte es la que nos ofrece Ibn Jaldūn en la *Muqaddima* en donde establece una clara distinción entre el talismanista y el mago propiamente dicho:

> En el caso de la magia, el mago (*al-sāḥir*) no necesita recurrir a ninguna ayuda externa, mientras que el talismanista (*ṣāḥib al-ṭilasmāt*) pide auxilio a los espíritus de los planetas, a los secretos de los números, a las características de las criaturas y a las posiciones de la esfera celeste la cual ejerce su influencia en el mundo de los [cuatro] elementos, tal como afirman los astrólogos (*al-munaŷŷimūn*). [Los filósofos] dicen: la magia es la unión de un espíritu con otro, mientras que el talismán es la unión de un espíritu con un cuerpo, lo cual implica el que las naturalezas celestes superiores se traben con las de los cuerpos inferiores, siendo las

[31] D. Pingree (ed.), *Picatrix. The Latin Version of the* Ghāyat al-Ḥakīm. Londres, 1986, p. 1.

[32] Sobre estas etimologías cf. H. Ritter y M. Plessner, *"Picatrix". Das Ziel des Weisen von Pseudo-Maǧrīṭī*, Londres, 1962 (traducción alemana de la *Gāya*); V. Perrone Compagni, «*Picatrix Latinus*. Concezioni filosofico-religiose e prassi magica», *Medioevo* (Padua) 1 (1975), 237-244; Sezgin, *G.A.S.* IV, 295.

> primeras los espíritus de los planetas, razón por la cual el talismanista recurre, en la mayor parte de los casos, a la ayuda de la astrología.[33]

La base teórica del arte talismánico fue expuesta por al-Kindī, en su *De radiis*, conservado en traducción latina[34] y una de las fuentes de la *Gāya*[35]: los rayos que emanan de los cuerpos celeste dan poder a los objetos y el papel del sabio es capturar esos rayos fabricando los talismanes adecuados y llevando a cabo la ceremonia en la que tendrá lugar la transmisión. Otro autor del siglo IX, Ṯābit b. Qurra, escribió una *Maqāla fī-l-ṭilasmāt*, bien conocida en Europa a través de dos versiones latinas con el título de *De imaginibus*[36], y que es, asimismo, otra de las fuentes de la *Gāya*[37]: esta obra tiene un carácter mucho más práctico y da instrucciones cuidadosas acerca de las técnicas a utilizar para construir talismanes con el propósito de expulsar serpientes o escorpiones, destruir una región determinada, causar desgracia a otros, recuperar objetos perdidos o robados etc. El mismo tipo de materiales se encuentra con facilidad en la *Gāya* en la que el capítulo 5 del libro I nos ofrece, por ejemplo, 31 ejemplos de las condiciones astrológicas que debe reunir el momento adecuado para construir una imagen talismánica y para, una vez elaborada, enterrarla en un lugar preciso. Las finalidades a lograr con estos ejemplos son muy diversas: unir a dos amantes y conseguir que su amor perdure, lograr que un hombre jamás pueda casarse con la mujer que desea, conseguir aumento de riqueza y éxito comercial, atraer la atención del poder político y ascender en categoría, separar y enemistar a dos personas, pescar en un río, expulsar escorpio-

[33] Ibn Jaldūn, *Muqaddima* (Beirut, 1961) p. 932. Ideas muy similares en *Gāya* ed. Ritter pp. 6-8.

[34] M. Th. D'Alverny y F. Hurdy, «Al-Kindī, *De radiis*», *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du Moyen Age* 41 (1974), 139-260.

[35] *Gāya* ed. Ritter pp. 175-176 cita explícitamente a al-Kindī en relación con una predicción sobre la duración del reinado de los árabes. Cf. Perrone Compagni, «*Picatrix Latinus*», 276-277.

[36] Ambas editadas por F.J. Carmody, *The Astronomical Works of Thābit ibn Qurra*. Berkeley-Los Angeles, 1960, pp. 180-197.

[37] Cf. p. ej. *Gāya* ed. Ritter p. 37.

nes de una determinada región, sembrar y cosechar productos agrícolas etc.[38].

Uno de los aspectos clave de la *Gāya* es el gran número de reminiscencias que conserva de la antigua religión planetaria de los sabeos de Ḥarrān. Estos parecen haber continuado el paganismo y la astrología de Babilonia pero aceptando el Agathodaemon y Hermes de Egipto y manteniendo relaciones con el gnosticismo y neoplatonismo. Parecen haber hecho hincapié en los espíritus de los planetas a los que hacían oraciones, sacrificios y fumigaciones. Los planetas tenían días y horas con los que estaban particularmente relacionados y, desarrollando esta tradición, la *Gāya* establece conexiones específicas de los planetas con los cuatro elementos (aire, agua, fuego, tierra), las cuatro cualidades naturales (cálido, frío, húmedo, seco), los colores, sabores y olores, minerales (especialmente metales), vegetales y animales. Las ciencias naturales forman parte, según la *Gāya*, de los conocimientos que debe poseer el mago (como el alquimista en la *Rutba*) para ejercer su actividad y las recetas mágicas de aquella obra están llenas de referencias al uso de todo tipo de materiales--muchos de ellos de carácter repugnante -- procedentes de la naturaleza. No en vano la *Agricultura Nabatea* de Ibn Waḥšiyya es una de las fuentes utilizadas por el autor de la *Gāya* y volveremos a encontrar prácticas de la misma índole al estudiar los tratados de agricultura andalusíes[39]. Ecos de estas creencias sabeas aparecen, por ejemplo, en el capítulo 7 del libro III, dedicado específicamente a ellas, en el que, al hablar de Saturno[40] empieza por indicar los momentos adecuados para invocar a este planeta (cuando está en su exaltación, en Libra, en uno de sus dos domicilios -- Acuario y Capricornio -- etc.), recetas de las fumigaciones que deben dedicársele[41], rituales de la fumigación y texto de la invocación que debe dirigírsele para implorar su favor y, finalmente, sacrificio animal que se dedica al planeta: se sacrifica una ternera o una vaca en un de-

[38] *Gāya* ed. Ritter pp. 26-37.

[39] L. Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science* I, 661-662; T. Fahd, «Sciences naturelles et magie dans "Gāyat al-ḥakīm" du Pseudo-Maŷrīṭī», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus. Textos y Estudios* ed. por E. García Sánchez (Granada, 1990), 11-21.

[40] *Gāya* ed. Ritter pp. 202-204.

[41] Cf. también, sobre fumigaciones a Saturno, *Gāya* ed. Ritter pp. 162 y 343.

sierto, bajo un árbol sin frutos[42]. Ya en 1912 Saxl estableció las estrechas dependencias de las oraciones del *Gāya* con respecto a las de las poblaciones sabeas de Ḥarrān y señaló que las representaciones astrales ḥarrānias, de origen babilónico, sobrevivieron en Occidente gracias a la difusión europea del *Picatrix*[43]. Del mismo modo se han podido establecer con claridad los ecos herméticos en el *Gāya*: el capítulo 6 del Libro III describe un ritual de iniciación de origen hermético que aparece también en un famoso texto alquímico: la *Tabula Smaragdina*[44].

La magia de tradición ḥarrānia no es la única fuente a la que recurre el autor de la *Gāya*. Si, al hablar de la *Rutba*, le he calificado de lector infatigable, lo mismo puede afirmarse aquí: la *Gāya* se presenta como una compilación de 224 libros de filosofía y magia cuya asimilación ha requerido seis años de estudio y meditación[45]. Por más que puede haber una obvia exageración en la cifra mencionada, parece claro que la *Gāya* ha sido compilada recurriendo a una extensa bibliografía compuesta por textos árabes sobre Hermetismo, Sabeismo, Ismailismo, astrología, alquimia y magia escritos en el Próximo Oriente durante los siglos IX y X: al igual que en el caso de la *Rutba*, no se mencionan fuentes posteriores al año 1000 pero queda claro que, a mediados del siglo XI, se disponía en al-Andalus de un importante corpus de literatura esotérica y que esto dio lugar a que se redactara una obra que los autores árabes consideran la exposición más completa escrita en árabe sobre magia astrológica. En el plano teórico la influencia dominante es la neoplatónica, basada en fuentes siriacas y griegas tardías. El autor parte de la necesidad de recurrir a una concepción filosófica del mundo mediante la razón y a disponer de una revelación e iluminación superior que explique al hombre los secretos del universo. Conoce las líneas fundamentales de la filosofía de Platón (cita el *Timeo*) y Aristóteles (cita sobre todo el *De anima*) y atribuye a ambos tratados de magia. El emanatismo

[42] *Gāya* ed. Ritter pp. 241-242.

[43] F. Saxl, «Beiträge zu einer Geschichte der Planetendarstellung», *Der Islam* 3 (1912), 151 ss.

[44] *Gāya* ed. Ritter pp. 187-190. Cf. H. Corbin, «Sohrawardi et les néoplatoniciens de Perse», *En Islam Iranien. Aspects spirituels et philosophiques*, París, 1971, 301-302.

[45] *Gāya* ed. Ritter p. 182.

plotiniano -- que parece haber llegado a la *Gāya* a través del *corpus* alquímico de Ŷābir -- le permite operar mágicamente sin necesidad de recurrir a las fuerzas diabólicas, que están totalmente ausentes de su obra. El mago aparece, en la *Gāya*, como el filósofo y el hombre perfecto en el cual se concilian la naturaleza propia del individuo, la disposición celeste afortunada en el momento de su nacimiento, una cultura científica completa y una perfecta preparación ascética. La magia que se ejerce a través de él no es más que el resultado de la actuación de El Uno que, por definición, es El Bien. La magia es un conjunto de acciones que se insertan dentro de las leyes generales de la naturaleza ya que el mago ha logrado introducirse dentro de la estructura general de la realidad y descubrir sus secretos ocultos.

Si bien existe una coherencia y unidad en la doctrina básica de la *Gāya* que, frecuentemente, carece de una aplicación práctica los actos mágicos descritos tienen un carácter mucho más multiforme y remontan a tradiciones mesopotámicas y egipcias, transmitidas a través de versiones helenísticas, romanas así como también siriacas en las que se combinan las tradiciones propias con materiales procedentes de Grecia, Irán y la India. El propio autor de la *Gāya* reconoce esto cuando menciona las magias propias de los nabateos de Caldea y Siria, los coptos de Egipto, los abisinios, kurdos, indios y persas: sabeos, griegos e indios constituyen, según confesión del autor, las fuentes básicas de su magia. Lo que más llama la atención en este conjunto es la aportación india (el autor de la *Gāya*, por ejemplo, demuestra conocer los nombres sánscritos de los planetas) y esto implica la introducción previa, en el mundo árabe, de materiales mágicos procedentes de la India que debieron seguir un camino similar al de los materiales astronómicos, mucho mejor conocidos, que tanta importancia tuvieron en el desarrollo de la astronomía andalusí[46].

[46] Sobre lo anterior cf. fundamentalmente V. Perrone Compagni, «*Picatrix latinus*» (ya citado) y el importantísimo trabajo de D. Pingree, «Some of the sources of the *Ghāyat al-ḥakīm*», *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes* 43 (1980), 1-15.

4.4 BOTANICA, FARMACOLOGIA Y MEDICINA.

Meyerhof[47], al trazar su esquema de la historia de la Farmacología en al-Andalus, califica de «Edad de Oro» a nuestro siglo XI y esta afirmación puede resultar cierta por más que buena parte de la producción científica de este siglo permanezca inédita y no haya sido objeto de un análisis riguroso. De hecho, si seguimos una relación *standard* de médicos de esta etapa[48] podemos constatar que el número de autores a citar es reducido y consta de los siguientes: el judío Ibn Ŷanāḥ (m. Zaragoza c. 1040), Ibn Wāfid (m. Toledo 1075), al-Rumaylī (fl. Almería s. XI) y el también judío Ibn Buklāriš (m. ¿Zaragoza? a principios del s. XII). A la lista anterior podríamos añadir Ibn al-Bagūniš (m. Toledo 1052) y al-Bakrī (m. 1094) sin que estos dos nombres cambien en gran manera los tres hechos fundamentales que conviene subrayar: 1) Durante esta etapa se ha producido, sin duda, la plena recepción de la obra de Galeno que vimos introducirse gradualmente a lo largo del siglo X[49]; 2) Medicina y Farmacología se confunden ya que la obras fundamentales de todos los autores mencionados tienen carácter farmacológico[50] y 3) Sólo conservamos obra escrita de dos médicos de esta época: Ibn Wāfid e Ibn Buklāriš. Todos los demás son poco más que un nombre y, con suerte, una escueta nota en algún diccionario biográfico andalusí. Se impone, pues, comentar con un cierto detalle lo que conocemos acerca de estos dos personajes fundamentales.

El primero de ellos, Abū-l-Muṭarrif ᶜAbd al-Raḥmān b. Muḥammad, conocido como Ibn Wāfid era contemporáneo de Ṣāᶜid de Toledo

[47] M. Meyerhof, «Esquisse d'histoire de la Pharmacologie et Botanique chez les musulmans d'Espagne», *Al-Andalus* 3 (1935), 13-15. Como síntesis reciente cf. también M. Castells, «La medicina en al-Andalus», L.C.A. pp. 127-144 (cf. especialmente pp. 136-137.

[48] Cf. C. Peña, A. Díaz, C. Alvarez de Morales, F. Girón, R. Kühne, C. Vázquez y A. Labarta, «*Corpus medicorum arabico-hispanorum*», *Awrāq* 4 (1981), 79-111 (cf. pp. 85-87).

[49] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Bū ᶜAlwān pp. 195 y 198; trad. Blachère pp. 150 y 152.

[50] La única excepción es, quizás, al-Rumaylī de cuyo *Kitāb al-bustān fī-l-ṭibb* («Libro del jardín sobre la medicina») sólo conocemos el título.

quien le dedica una noticia relativamente larga[51] en la que nos informa de la fecha de su nacimiento que Ṣāᶜid conocía por habérsela comunicado el propio Ibn Wāfid: el problema radica en que unos manuscritos de las *Ṭabaqāt*[52] registran a este respecto el año 389 H./ 999 de J.C. mientras que en otros aparece el 398/ 1008. No está claro si era de origen cordobés o toledano pero, en cualquier caso, pertenecía a una familia importante, estudió en Córdoba y acabó afincándose en Toledo en donde debió alcanzar el rango de visir ya que Ṣāᶜid se lo adjudica. Fue jurisconsulto y médico bien formado en la medicina helenística: había leido a Aristóteles, Dioscórides y Galeno. Ṣāᶜid señala que seguía los criterios hipocráticos habituales en el tratamiento de las enfermedades: recurrir en primer lugar a la dieta, en segundo a los medicamentos simples y sólo en último término a los compuestos. Dejando de lado, por el momento, la obra agronómica que se le atribuye -- de la que me ocuparé en el apartado siguiente -- parece haber escrito varias obras de carácter médico y farmacológico[53]: un tratado de Oftalmología (*Tadqīq al-naẓar fī ᶜilal ḥāssat al-baṣar*, «Observaciones sobre el tratamiento de las enfermedades de los ojos»), un *Kitāb al-mugīṯ* («Libro de la asistencia») y un *De balneis sermo*, conservado únicamente en traducción latina y que tiene interés en el contexto de la época de Ibn Wāfid ya que Ṣāᶜid nos informa de que Abū Marwān ᶜAbd al-Malik ibn Zuhr -- el abuelo del célebre médico Ibn Zuhr/ Avenzoar del que me ocuparé en § 5.5.3.2 --, médico instalado en la corte de Muŷāhid de Denia, se oponía a la balneoterapia por considerarla nociva para el cuerpo ya que alteraba el equilibrio de los humores[54]. De las tres obras mencionadas hasta el momento sólo se conserva la última además de las dos obras fundamentales que han dado fama a Ibn Wāfid.

La primera es su tratado sobre los medicamentos simples *Kitāb fī-l-adwiya al-mufrada*, obra extensa cuyo manuscrito original ocupaba casi quinientos folios y a cuya composición dedicó veinte años de su vida. De esta obra se conserva parcialmente el texto árabe

[51] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Būᶜ Alwān pp. 195-196; tr. Blachère pp. 150-151.

[52] Interpreto así el hecho de que la fecha 389 aparezca en la ed. de Būᶜ Alwān, mientras que 398 se encuentra en la traducción de Blachère.

[53] Cf. J. Vernet, «Ibn Wāfid», *D.S.B.* XIV, 112-113.

[54] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Būᶜ Alwān pp. 196-197; tr. Blachère pp. 151-152.

original, en un manuscrito hebraico-árabe de El Escorial[55], amén de una traducción latina de Gerardo de Cremona (*Liber Abenguefith philosophi de virtutibus medicinarum et ciborum*) y de versiones hebrea y catalana[56]. Se trata de una obra en la que, como veremos, el autor intenta compilar todo lo conocido hasta su tiempo sobre los simples término que, en principio, abarca los tres reinos de la naturaleza aunque, como señala Faraudo[57], la materia vegetal ocupa el noventa por ciento del contenido del libro. No parece que Ibn Wāfid fuera, en ningún momento, un botanista práctico sino que se trata, básicamente, de un erudito compilador que no rehuye introducirse en terrenos que corresponden a la medicina creencial con recetas carentes de valor científico sobre maneras de combatir el mal de ojo, ahuyentar animales dañinos etc., materiales que también se encuentran en su presunto tratado de agricultura. Por otra parte, esta obra contiene también multitud de materiales que corresponden a la mejor farmacología de la época como sus juiciosas observaciones acerca de los «medicamentos soporíferos» en los que entra la mandrágora, la yusquiama, el verbasco (*al-banŷ*), la adormidera (*jašjāš*) y el opio (*al-afiyūn*), productos todos ellos utilísimos como antiálgicos pero muy peligrosos porque, aplicados en grandes dosis, producen la muerte. Aquí Ibn Wāfid recoge una cita de Avicena según el cual «la adormidera es uno de los medicamentos terribles»[58].

La segunda obra a mencionar es el complemento de la anterior ya que se ocupa de medicamentos compuestos: un compendio de recetas médicas estructuradas, a la manera tradicional, *de capite ad calcem*, es decir empezando por las enfermedades de la cabeza (cabello, cerebro, ojo, oído, nariz, boca y garganta) y terminando con las que afectan al aparato genital (masculino y femenino) y al

[55] J.M. Millás Vallicrosa, *Las traducciones orientales en los manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo*, Madrid, 1942, p. 131; J. Llamas, «Los manuscritos hebreos de la Real Biblioteca de San Lorenzo del Escorial», *Sefarad* 3 (1943), 41-42; J. Millás Vallicrosa, «Un texto hebraico de la obra sobre los medicamentos simples de Ibn Wāfid», *Sefarad* 3 (1943), 490-492.

[56] L. Faraudo de Saint-Germain, *El «Libre de les medicines particulars». Versión catalana trescentista del texto árabe del tratado de los medicamentos simples de Ibn Wâfid, autor médico toledano del siglo XI*, Barcelona, 1943.

[57] Faraudo, *Medicines particulars* pp. XI-XII.

[58] Cf. Millás, «Un texto hebraico» (cit.); Faraudo, *Medicines particulars* pp. 17-18.

intestino. A esta estructura se añaden unos capítulos dedicados a la piel, humores espesos, fiebres, purgantes y un apartado final dedicado a electuarios, jarabes y arropes posiblemente tomado del *Canon* de Avicena. El título de la obra es *Kitāb al-wisād fī-l-ṭibb* («Libro de la almohada sobre la medicina»)[59] que se ha interpretado como una especie de «libro de cabecera» para el médico práctico, por más que cabe también la posibilidad de una transmisión defectuosa del título y de que, tal como sugiere Vernet[60], se trate de un *Kitāb al-raššād* («Libro de la guía») en lugar de un *Kitāb al-wisād*. De cualquier modo se trata de una obra de carácter práctico, sin la menor preocupación teórica, que corresponde al género denominado *muŷarrabāt*, recetas confirmadas por la experiencia no necesariamente propia sino derivada, en muchos casos, de la bibliografía oriental y occidental que Ibn Wāfid está manejando. Esto me mueve a sospechar que, cuando Ibn Abī Uṣaybiᶜa atribuye a Ibn Wāfid una obra denominada *Muŷarrabāt fī-l-ṭibb*, se está refiriendo precisamente al «Libro de la Almohada».

El segundo autor del que debemos ocuparnos con un cierto detalle es Yūnus b. Isḥāq b. Buklāriš al-Isra'īlī, médico judío del que apenas sabemos nada. Una breve noticia de Ibn Abī Uṣaybiᶜa nos proporciona los únicos datos biográficos seguros entre los que se encuentra el hecho de que escribió su tratado farmacológico conocido por *al-Mustaᶜīnī* encontrándose en Almería y lo dedicó al rey de Zaragoza Aḥmad II al-Mustaᶜīn bi-llāh (1085-1110), hijo del célebre rey-matemático Yūsuf al-Mu'taman del que me he ocupado en § 3.2. Posiblemente escribió este libro — la única obra suya que conservamos — con el fin de atraerse la atención del monarca hūdī a cuyo servicio debió entrar a continuación ya que sabemos que llegó a Zaragoza después del 1085: a este respecto A. Labarta[61] sospecha que la salida de Ibn Buklāriš de Andalucía con destino a Zaragoza

[59] Cf. la traducción castellana de C. Alvarez de Morales, *"El Libro de la Almohada" de Ibn Wāfid de Toledo (Recetario médico árabe del siglo XI)*, Toledo, 1980. Del mismo autor véase también «La medicina hispano-árabe en el siglo XI a través de la obra del toledano Ibn Wāfid», *Actas del IV Coloquio Hispano-Tunecino. Palma de Mallorca, 1979*, Madrid, 1983, 29-41; «Nuevos datos sobre el "Kitāb al-wisād". El manuscrito Or. 185 de la Wellcome Historical Medical Library», *Miscelánea de Estudios Arabes y Hebraicos* 29-30 (1980-81), 53-60.

[60] Vernet, «Ibn Wāfid», *D.S.B.* XIV, 112-113.

[61] A. Labarta, «La Farmacología de Ibn Buklāriš: sus fuentes», *Actas del IV Coloquio Hispano-Tunecino*, Madrid, 1983, pp. 163-174.

puede tener relación con la entrada de los almorávides en Almería en 1091. En el *Musta^{c}īnī* nuestro autor cita una segunda obra suya titulada *Risālat al-tabyīn wa-l-tartīb* que constituye un ensayo de explicación y clasificación jerárquica de los alimentos en el que desarrolla la noción galénica de las cuatro fuerzas o facultades (atractiva, aprehensiva, retentiva, digestiva y expulsiva) que existen en todos los órganos[62]. En lo que respecta al *Musta^{c}īnī* hay que señalar que, según Ibn Abī Uṣaybi^{c}a, su título exacto habría sido *Al-muŷadwala fī-l-adwiya al-mufrada*, o sea «Tablas sinópticas sobre los medicamentos simples» ya que, en esta obra la lista de simples aparece — siguiendo el modelo establecido por los médicos bagdadíes, del s. XI pero anteriores a nuestro autor, Ibn Buṭlān e Ibn Ŷazla — dispuesta en una serie de tablas sinópticas escritas a doble página en las que la página de la derecha consta de cuatro columnas que corresponden, de derecha a izquierda, a:

1. Nombre del simple.
2. Naturaleza y grado galénico.
3. Sinonimia en las distintas lenguas al uso.
4. Sucedáneos.

La quinta columna corresponde, entonces, a la página de la izquierda y en ella se enumeran los usos, propiedades y modos de empleo del simple. La utilización de tablas sinópticas en estos tratados se puso de moda en esta época dada la gran cantidad de datos que debían condensarse para una lectura rápida: sabemos que en Oriente se prepararon tablas similares de términos anatómicos y de enfermedades para que fueran utilizadas por los estudiantes.

No disponemos de ninguna edición o traducción completa del *Musta^{c}īnī* pero su prólogo que, como veremos, tiene un carácter bastante autónomo, ha sido objeto de una edición y dos traducciones[63]. En él Ibn Buklāriš se muestra, al revés de Ibn Wāfid, como

[62] H.P.J. Rénaud, «Trois études d'histoire de la médecine arabe en Occident. I. Le *Musta^{c}īnī* d'Ibn Beklāreš», *Hespéris* 10 (1930), 135-150 (artículo que sigue siendo fundamental a pesar del tiempo transcurrido desde su publicación).

[63] Ed. y trad. castellana en A. Labarta, «El prólogo del *Kitāb al-Musta^{c}īnī* de Ibn Buklāriš». E.H.C.A., 181-316. Trad. inglesa en M. Levey y S.S. Souryal, «The Introduction to the *Kitāb al-Musta^{c}īnī* of Ibn Biklārish (fl. 1106)», *Janus* 55 (1968), 134-166. Sobre la obra en general pueden verse los dos artículos siguientes de Levey: «The Pharmacology of Ibn Biklārish in the Introduction to his *Kitāb al-Musta^{c}īnī*», *Studia Islamica* 6 (1969), 98-104; «The Pharmacological Table of Ibn

teórico profundamente influido por las ideas de Galeno: empieza por plantear el tema de los procedimientos utilizados por los médicos antiguos para establecer el grado de calor/frío, sequedad/humedad que corresponde a cada simple y menciona la experimentación por el gusto y el olfato para terminar con la absorción del medicamento. Elabora, a continuación, la teoría galénica de la enfermedad como resultado de la ruptura del equilibrio humoral, aplica la noción de equilibrio a los medicamentos compuestos y plantea el problema -- del que me ocuparé más adelante -- de la determinación del grado de un compuesto en función de la graduación de los simples de los que consta. Luego se ocupa de temas dietéticos y de la acción de los medicamentos evacuatorios, para lo que adapta el pequeño tratado galénico *De purgantium medicamentorum facultatibus*, y termina con la exposición de las reglas de sustitución para el uso de sucedáneos.

Expuestos de este modo los materiales básicos de que disponemos para el análisis de la farmacología andalusí en época taifa, intentaré, a continuación, sacar unas conclusiones acerca de las líneas fundamentales que presiden su desarrollo durante esta etapa.

Lo primero que debe constatarse es la existencia de una continuidad, en la tradición fármaco-botánica con respecto al siglo anterior en el que -- como hemos visto (cf. § 2.6.1) -- ocupa un lugar central la revisión cordobesa de la traducción árabe de la *Materia Médica* de Dioscórides y los estudios iniciados por Ibn Ŷulŷul acerca de la terminología de los nombres de los simples. De este modo vemos que uno de los primeros médicos de este siglo -- por más que sus conocimientos en este terreno tuvieran un carácter meramente teórico -- Sa^{c}īd ibn al-Bagūniš (m. 1052), pese a haber nacido en Toledo, estudió Medicina en Córdoba con Ibn Ŷulŷul y con Ibn ^{c}Abdūn al-Ŷabalī, del mismo modo que estudió Aritmética y Geometría con Maslama al-Maŷrīṭī[64]. En el mismo sentido apunta Ibn al-Abbār el cual, en su biografía de Ibn Wāfid (n. 999 ó 1008, m. 1075) nos dice que fue discípulo de Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī[65] (m.c. 1013, cf. § 2.6.2) lo cual nos plantea el problema, insoluble de momento, de determinar cuál de las dos fechas posibles del nacimiento de Ibn Wāfid es la correcta. Si el médico toledano nació en el 999 no sería imposible que hubiera estudiado con al-Zahrāwī siendo aún

Biklārish (fl. 1106)», *Journal for the History of Medicine* 26 (1971), 413-421.

[64] Ṣā^{c}id, *Ṭabaqāt* ed. Bū ^{c}Alwān pp. 194-195; tr. Blachère pp. 149-150.

[65] Ibn al-Abbār, *Takmila* ed. F. Codera, Madrid, 1887-89, II, 551.

muy joven[66]; en cambio si Ibn Wāfid nació en 1008, debe rechazarse un magisterio directo.

Esta continuidad con la escuela farmacológica cordobesa del siglo X se confirma si analizamos la producción escrita de la época. La labor de Ibn Ŷulŷul en la etapa anterior tiene una doble faceta: por una parte identificación de los nombres de los simples mencionados por Dioscórides y, por otra, elaboración de una lista de adiciones al elenco de simples del autor griego[67]. Esta lista se lleva a cabo de dos maneras distintas: por una parte utilizando bibliografía árabe oriental y, por otra, empezando a realizar una labor de catalogación de la flora andalusí. Así, mientras Ibn Ŷulŷul parece haberse limitado a añadir simples exóticos no conocidos por la farmacología helenística, aunque mencione esporádicamente los lugares en los cuales pueden encontrarse, en al-Andalus, determinadas plantas, en este siglo parece iniciarse la labor —que culminará en el siglo siguiente — de estudio práctico de las plantas andalusíes. Una de las primeras referencias de que disponemos, a este respecto, es la del geógrafo y botanista al-Bakrī (m. 1094) el cual escribirá un *Kitāb aᶜyān al-nabāt wa-šaŷariyyāt andalusiyya* («Libro de las principales plantas y árboles de al-Andalus»), desgraciadamente perdido. En lo que respecta a las aportaciones propias de la farmacología oriental, no resulta difícil constatar que este trabajo erudito lo llevan a cabo, por ejemplo, Ibn Wāfid e Ibn Buklāriš. Entre las fuentes mencionadas en el *Kitāb al-adwiya al-mufrada* del primero se encuentran Hipócrates, Galeno, Rufo de Efeso, un seudo-Pitágoras, Bolos, Alejandro de Afrodisia, Juan Damasceno pero también al-Kindī, Ḥunayn b. Isḥāq, Abū Ḥanīfa al-Dīnawarī, ᶜAlī ibn ᶜAbbās al-Maŷūsī, Dunaš ibn Tamīm y Avicena[68]. Algo similar encontramos en el caso de Ibn Buklāriš el cual recurre asimismo a una bibliografía de autores clásicos y bizantinos (Aristóteles, Dioscórides, Galeno, Paulo Egineta), médicos orientales de los siglos VIII y IX (Māsarŷawayh, Ibn Māsawayh, Ibn al-Biṭrīq, Ḥunayn ibn Isḥāq, Ḥubayš, al-Kindī etc.) y a un

66 Vernet, *La cultura hispanoárabe* p. 57 n. 167.

67 I. Garijo, «El tratado de Ibn Ŷulŷul sobre los medicamentos que no mencionó Dioscórides», *Ciencias de la naturaleza en al-Andalus* I, 57-70.

68 Faraudo, *Medicines particulars* pp. XI-XII y 197-198; cf. también C. Alvarez de Morales, «La medicina hispano-árabe en el siglo XI, a través de la obra del toledano Ibn Wāfid» pp. 38-39.

número reducido de fuentes de los siglos X y XI que, en su mayoría (las únicas excepciones son al-Rāzī -- m. a principios del s. X -- y Avicena), son andalusíes o norteafricanas[69]. Finalmente en esta etapa, al igual que en la precedente y en la que le seguirá, se seguirá insistiendo en la tarea de identificación de los simples y utilizando una terminología multilingüe: el médico judío Ibn Ŷanāḥ (c. 990-c. 1040) escribirá un *Taljīṣ* (resumen) farmacológico que no conservamos pero que es citado por al-Gāfiqī e Ibn al-Bayṭār, en el cual los nombres de los simples aparecían en griego, árabe, persa, siriaco, beréber y romance hispánico[70]. Lo mismo sucede con el *Musta^{c}īnī* de Ibn Buklāriš en el que, tal como señala Renaud, los nombres de los simples aparecen en las mismas lenguas antes mencionadas pero en los que, además, se distingue entre una *^{c}aŷamiyya rūmiyya* -- aljamía rumí que Simonet[71] identificó con una jerga con elementos latinos, griegos y de otras lenguas, que habría sido utilizado por los droguistas del Bajo Imperio -- y una *^{c}aŷamiyya ^{c}āmmiyya* (aljamía popular, romance) y añade, por otra parte, referencias a la *^{c}aŷamiyyat Saraqusṭa* (romance de Zaragoza) que distingue de la *^{c}aŷamiyyat al-Andalus* (romance de al-Andalus).

Un tema nuevo, en parte, en este siglo es el de la dosificación de los medicamentos compuestos. El punto de partida a este respecto es el de los pesos y medidas de capacidad a utilizar, algo que preocupa a toda la sociedad y cuya vigilancia constituye una de las responsabilidades fundamentales del almotacén[72] y que resulta especialmente importante para el colectivo formado por los profesionales de la medicina para los cuales un error de medida puede tener conse-

[69] Rénaud, «Le *Musta^{c}īnī* d'Ibn Beklāreš» pp. 148-149. Dada la posibilidad de que Ibn Buklāriš cite, en algunos casos, de forma indirecta A. Labarta («La Farmacología de Ibn Buklāriš: sus fuentes») realiza un intento muy interesante de cotejar las citas de este autor con la presunta fuente.

[70] Meyerhof, «Esquisse» p. 15.

[71] F.J. Simonet, *Glosario de voces ibéricas y latinas usadas entre los mozárabes, precedido de un estudio sobre el dialecto hispano-mozárabe*, Madrid, 1988, p. CXLVI.

[72] Cf. p.ej. E. García Gómez, «Unas "ordenanzas del zoco" del siglo IX», *Al-Andalus* 22 (1957), 270-271, 295-298; *Sevilla a comienzos del siglo XII, el tratado de Ibn ^{c}Abdūn*, Madrid, 1948, pp. 125-126; P. Chalmeta, «El "Kitāb fī ādāb al-ḥisba" (Libro del buen gobierno del zoco) de al-Saqaṭī». *Al-Andalus* 32 (1967), 157-158 y 381 ss.; J. Vallvé, «Notas de metrología hispano-árabe. II. Medidas de capacidad», *Al-Andalus* 42 (1977), 61-121, y «III. Pesos y monedas», *Al-Qanṭara* 5 (1984), 147-167.

cuencias muy graves. Vemos, así, que la preocupación por el tema surge ya, a fines del siglo X, en la obra de Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī el cual, en el tratado 29 de su gran enciclopedia médica, *al-Taṣrīf*, dedicará un capítulo a discutir con detalle los pesos y medidas usados en medicina en Oriente y en al-Andalus[73]. En el siglo XI el ya citado médico judío Ibn Ŷanāḥ dedicará su *Talŷīṣ* no sólo al estudio de los simples sino también «al análisis detallado de las unidades que se utilizan en el arte médico tanto de peso como de capacidad»[74]. Por su parte tanto Ibn Wāfid como Ibn Buklāriš son extraordinariamente cuidadosos con la posología en sus obras respectivas y los datos espigados a partir del *Libro de la almohada* del primero han permitido a Alvarez de Morales[75] elaborar una tabla interesante de medidas y constatar que buena parte importante de estas unidades estaban todavía en uso en un tratadista español de farmacia del siglo XVIII.

Directamente relacionado con el tema anterior está el que despertó en gran manera los intereses teóricos de Ibn Buklāriš: me refiero a la dosificación de los simples que forman un medicamento compuesto con el fin de que este último tenga una graduación determinada. En efecto, este autor sigue, como es normal, la caracterización hipocrática de los simples en función de las cuatro cualidades fundamentales (cálido, frío, húmedo y seco) a la que superpone la noción galénica según la cual un simple tiene una determinada cualidad en primero, segundo, tercer o cuarto grado. Ibn Buklāriš define estas intensidades siguiendo a Pablo de Egina: un medicamento con una cualidad en primer grado no cambia el cuerpo de forma perceptible, en segundo grado lo cambia de forma perceptible pero no intensa, en tercer grado de manera intensa pero no máxima y, finalmente, en cuarto grado produce el cambio con la máxima intensidad. Ahora bien, si un medicamento compuesto está formado por la mezcla de una serie de simples, cada uno de los cuales está caracterizado por un par de cualidades en distinto grado, ¿cuál será la

[73] S. Hamarneh, «The First Recorded Appeal for Unification of Weight and Measure Standards in Arabic Medicine», *Physis* 5 (1963), 232.

[74] Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Būᶜ Alwān p. 204; tr. Blachère p. 159 (es mucho menos explícita que el original árabe).

[75] C. Alvarez de Morales, «Pesos y medidas en un manuscrito árabe sobre Materia Médica del siglo XI», *Cuadernos de Historia del Islam* 7 (1975-76), 161-165.

graduación del compuesto para cada cualidad?. Aquí Ibn Buklāriš seguirá la teoría expuesta por al-Kindī en el famoso tratado *Fī maᶜrifat quwà al-adwiya al-murakkaba* («Cómo conocer las fuerzas de los medicamentos compuestos»), conocido en el mundo latino como el *De gradibus*, gracias a la traducción de Gerardo de Cremona, y que tal vez hubiera estado al alcance de Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (§ 2.6.2). Según al-Kindī e Ibn Buklāriš, un simple podrá ser, por ejemplo:

	Partes de calor	*Partes de frío*
Templado	1	1
Cálido 1er grado	2	1
Cálido 2^{o} grado	4	1
Cálido 3er grado	8	1
Cálido 4^{o} grado	16	1

A partir de aquí, si queremos calcular la graduación en calor/-frío de un compuesto en el que entra un *dirham* (medida de peso del orden de unos 3 gramos) de un simple A que es cálido en 4º grado y 15 *dirhams* de un simple B que es frío en primer grado, tendremos entonces:

	Partes de calor	*Partes de frío*
Simple A (1 *dirham*)	16	1
Simple B (15 *dirhams*)	15x1= 15	15x2=30
Compuesto AB	31	31

La consecuencia es, por tanto, que nuestro hipotético compuesto es templado en relación al par de cualidades calor/ frío[76]. Ibn Buklāriš se preocupa de exponer esta doctrina con toda claridad ya que, según afirma en un pasaje que constituye una especie de alegato en defensa del médico científico, con una buena formación teórica:

> La composición de lo que se aparta del equilibrio hacia una de las cualidades es más difícil y

[76] Sobre todo lo anterior cf. Rénaud, «Le *Mustaᶜīnī*»; Labarta, «La Farmacología de Ibn Buklāriš» pp. 165-166. Pueden leerse los textos en Labarta, «El prólogo» pp. 206 y ss. Sobre la ley de al-Kindī y su influencia en Europa sobre todo a partir del siglo XIII, véase M.R. McVaugh, *Arnaldi de Vilanova Opera Medica Omnia. II. Aphorismi de Gradibus*, Granada-Barcelona, 1975, pp. 53 y ss.

> más complicada, no se aprende sino después de conocer el equilibrio, y es un saber que no le sobra a nadie que se interese por la ciencia de los cuerpos, sólo que ellos, cuando ven cuánta dificultad y complicación tiene, lo abandonan y se confían en la copia de libros. Los recogen sin saber que ya han pasado por las manos de mucha gente que no los copia bien ni sabe su colocación; y es posible que la mayor parte de ellos tenga errores, exagere en el peso de las drogas o se quede corto en sus cantidades, y tal vez se hayan perdido una droga o dos, más o menos. Y esto no lo ve sino quien arregla el manuscrito, obtiene los pesos, estudia las cualidades, mezcla las drogas unas con otras y luego las aplica todas al cuerpo equilibrado para averiguar el grado del medicamento compuesto; este es el procedimiento correcto[77].

Nos encontramos, pues, con una faceta nueva en este desarrollo de la farmacología en el s. XI: no sólo hay continuidad con respecto al siglo X sino que nos aparece, en la obra de Ibn Buklāriš, un interés por la teoría farmacológica que sitúa a este autor a un nivel científico muy superior al de Ibn Wāfid. Veremos enseguida cómo este interés por la teoría aparecerá también en los tratados de agronomía y será continuado, a principios del siglo siguiente, por el *Botánico Anónimo*.

4.5 LA AGRONOMIA.

4.5.1 GENERALIDADES.

En los capítulos anteriores he rastreado ya algo acerca de los orígenes de la tradición agronómica andalusí al ocuparme del «jardín botánico» creado en Córdoba en el siglo VIII por ᶜAbd al-Raḥmān I (cf. § 1.2), a la existencia de una agronomía latino-visigoda cuyos

[77] Labarta, «El Prólogo» pp. 207-208.

ecos llegan hasta Ibn al-ᶜAwwām en el siglo XIII (§ 1.5) y a los ensayos de aclimatación de una nueva especie de higuera introducida subrepticiamente en el siglo IX por Yaḥyà al-Gazāl (§ 2.2). Añadamos a esto el *Calendario de Córdoba* del siglo X (§ 2.4.3) en el que, además de los materiales astronómicos que frecuentemente pueden considerarse de origen oriental, encontramos con frecuencia otros de carácter agrícola que tienen un carácter marcadamente andalusí. A esto debe añadirse la reciente hipótesis según la cual el Garīb b. Maᶜīn/ Maᶜīd, citado en el tratado de Ibn al-ᶜAwwām acerca del procedimiento para conseguir vides o higueras que den frutos de varios colores, sería ᶜArīb b. Saᶜīd, uno de los dos autores del *Calendario de Córdoba*, que aparecería así como autor de un texto agronómico[78]. A todo esto hay que añadir el presunto tratado de agricultura atribuido al famoso médico y cirujano Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī, tema del que me ocuparé enseguida.

Dejando aparte estos antecedentes -- en los que tendrán que ahondar investigaciones posteriores a medida que vayan surgiendo nuevos materiales[79] -- parece claro que, en época taifa, surgieron dos escuelas sucesivas de agrónomos que se desarrollaron, en primer lugar, en Toledo -- sobre todo bajo el reinado de Yaḥyà al-Ma'mūn (1037-1074), al que ya he mencionado (§ 3.3.1) como mecenas científico -- y más tarde en Sevilla bajo al-Muᶜtamid b. ᶜAbbād (1069-1091). Está por demostrar la incidencia que tuvo la conquista de Toledo en 1085 por Alfonso VI en este desplazamiento del centro de gravedad de los estudios agronómicos pero sabemos que algún agrónomo como Ibn Baṣṣāl inició su carrera en Toledo y la terminó en Sevilla.

Debe constatarse que, en una y otra capital, se desarrolla la tradición de los jardines botánicos de los que existieron, por lo menos, dos: uno en Toledo, a orillas del Tajo, posiblemente en el mismo lugar en el que se encontraba el *maŷlis al-nāᶜūra*, las clepsidras de Azarquiel y la cúpula o quiosco de agua[80]: según Ibn al-

[78] A.C. López, «Vida y obra del famoso polígrafo cordobés del s. X ᶜArīb ibn Saᶜīd», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 339-340.

[79] El estado de la cuestión más reciente que conozco es el de E. García Sánchez, «La agronomía en al-Andalus», L.C.A. pp. 145-155.

[80] J.M. Millás y M. Aziman, *Ibn Baṣṣāl: Libro de Agricultura*, Tetuán, 1955), pp. 33-34; Millás, *ᶜIlm al-filāḥa ᶜinda-l-mu'allifīn al-ᶜarab fī-l-Andalus*, Tetuán, 1957, p. 17; H. Pérès, *La poésie andalouse en arabe classique au XIᵉ siècle.*

Abbār este jardín botánico, denominado «jardín de al-Ma'mūn», habría sido creado por Ibn Wāfid, por encargo del monarca[81]. El segundo jardín botánico se encontraba en Sevilla ya que el *Botánico Anónimo* -- del que me ocuparé en § 5.5.2 -- se refiere a experiencias realizadas por él en el jardín de su casa, en el de la corte y en el del sultán[82]: cabe suponer que el jardín de la corte y el del sultán son uno mismo y, según la misma fuente, el jardín del sultán habría sido sembrado por Ibn Baṣṣāl[83]. Es posible, por otra parte, que, tal como señala E. García Sánchez[84], hubiera existido un tercer jardín botánico en Almería, el llamado *Ṣumādiḥiyya* situado en las afueras de la ciudad en el que, según al-ᶜUḏrī[85], se cultivaban plátanos, caña de azúcar y multitud de frutos extraños. En estos jardines, y en otros de carácter privado, se llevaron a cabo intentos de aclimatación de plantas exóticas al igual que se hacía -- como hemos visto -- en los siglos VIII y IX. El *Botánico Anónimo* da numerosas referencias a un comercio de plantas medicinales con países remotos como la India y la China. Así, en esta fuente, el autor dice que su maestro Ibn al-Luengo le enseñó semillas de mirobálano índico[86] que habían sido traidas a al-Ma'mūn desde la India septentrional: por su parte Ibn al-Luengo las había obtenido de su maestro Ibn Wāfid[87]. La misma obra contiene multitud de referencias a personajes que, como Abū ᶜAbd Allāh el Droguero, traen plantas

Ses aspects généraux et sa valeur documentaire, París, 1953, pp. 151-152.

81 Ibn al-Abbār, *Takmila* ed. Codera II, 551.

82 M. Asín Palacios, *Glosario de voces romances registradas por un botánico anónimo hispano-musulmán (siglos XI-XII)*, Madrid-Granada, 1943, pp. XX-XXI. Cf. *infra* § 4.5.2.2 la hipótesis de al-Jaṭṭābī quien identifica este Botánico Anónimo con el agrónomo sevillano Abū-l-Jayr.

83 Asín, *Botánico* p. XIII.

84 E. García Sánchez, «Al-Ṭignarī y su lugar de origen», *Al-Qanṭara* 9 (1988), p. 4 n. 15.

85 Ed. ᶜAbd al-ᶜAzīz al-Ahwānī, *Nuṣūṣ ᶜan al-Andalus min «Kitāb tarṣīᶜ al-ajbār wa-tanwīᶜ al-āṯār»*, Madrid, 1965, p. 85.

86 Se trata de un árbol de la familia de las cumbretáceas de la India cuyos frutos, parecidos a la ciruela, se usan en medicina y tintorería.

87 Asín, *Botánico* p. XV.

de la India y de la China: una alubia procedente de la India[88], la «nuez de viento» procedente «de Oriente» y que el autor plantó logrando que germinara, la cañafístola (*cassia fistula L.*) que se encontraba en Indochina, Siria y Egipto y que se cultivó en el jardín de la corte de Sevilla, finalmente un rosal espinoso que se daba en Abisinia y en la India de donde trajeron algunas semillas que el autor sembró en el jardín del sultán[89]. Uno de los grandes agrónomos de esta época, Abū-l-Jayr nos refiere asimismo que su contemporáneo Ibn Baṣṣāl trajo de Siria semillas de una especie de mandrágora y las plantó con éxito en Toledo[90]

4.5.2 LOS AUTORES

Hasta aquí me he limitado a recoger una serie de referencias a la existencia de jardines botánicos y al interés de los andalusíes por los cultivos experimentales. Conviene, no obstante, analizar, a continuación, la existencia de una serie de autores y de textos agronómicos empezando por subrayar que la cronología de buena parte de estos personajes no es segura (aunque, en su mayoría, parecen surgir y desarrollar su actividad a lo largo de unos 50 años: 1060-1115) y que las obras -- con la excepción de la de Ibn al-ᶜAwwām -- no se conservan íntegras: se trata, en general, de resúmenes o de páginas selectas recogidas por agrónomos norteafricanos. B. Attié[91] ha estudiado el problema de la cronología relativa de este conjunto de autores y textos: en las páginas siguientes seguiré y comentaré su trabajo, ampliándolo en alguna ocasión[92].

88 Asín, *Botánico* p. XVIII; cf. L. Bolens, «Le haricot vert en Andalousie et en Mediterranée médiévales (*phaseolus, dolichos, lūbiyā*, judía), *Al-Qanṭara* 8 (1987), 65-86.

89 Asín, *Botánico* pp. XX-XXI.

90 B. Attié, «L'ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al-ᶜAwwām», *Al-Qanṭara* 3 (1982), 299-332 (cf. p. 324).

91 B. Attié, «L'ordre chronologique probable». Un excelente estado de la cuestión en torno al problema de las fuentes agronómicas andalusíes y sus presuntos autores en E. García Sánchez, «Problemática en torno a la autoría de algunas obras agronómicas andalusíes», *Homenaje al Prof. Darío Cabanelas* II, Granada, 1987, 333-341.

92 Dejo, por el momento, el problema planteado por el anónimo andalusí recientemente editado por A.C. López, al que me he referido en § 1.5. Según Attié

4.5.2.1 *Ibn Wāfid y al-Nahrāwī / al-Zahrāwī.*

Me he referido ya más arriba (§ 4.4) a Ibn Wāfid como médico y farmacólogo. Además de sus obras en estos campos, la biografía que le dedica Ibn al-Abbār en la *Takmila* es la única fuente que le asigna un *Maŷmūᶜ fī-l-filāḥa* («Suma de Agricultura») y la plantación del Jardín de al-Ma'mūn en Toledo. Hace ya tiempo que Dubler, al estudiar la *Agricultura General* de Gabriel Alonso de Herrera estableció que una de sus fuentes básicas era un tal *Aben Cenif*[93]. Millás publicó, al poco tiempo, una traducción castellana (¿alfonsí?) de un tratado de agricultura árabe y la identificó como la fuente de Herrera afirmando asimismo que *Aben Cenif* era una deformación de Ibn Wāfid[94]. En un intervalo de pocos años apareció el texto árabe correspondiente a esta traducción castellana tanto en un impreso norteafricano[95] como en manuscritos[96]. La identificación de Ibn Wāfid como autor de este texto agronómico ha sido, en general, aceptada hasta que, en fecha más reciente, aparecen dos manuscritos que atribuyen la obra a un tal Abū-l-Qāsim b. ᶜAbbās al-Nahrāwī[97] nombre que resulta extraordinariamente sospechoso por su semejanza

sería el texto agronómico andalusí más antiguo conocido (fines del s. X).

[93] C.E. Dubler, «Posibles fuentes árabes de la "Agricultura General" de Gabriel Alonso de Herrera», *Al-Andalus* 6 (1941), 135-156.

[94] J.M. Millás, «La traducción castellana del "Tratado de agricultura" de Ibn Wāfid», *Al-Andalus* 8 (1943), 281-332. El carácter alfonsí de esta traducción, apuntado tímidamente por Millás, fue sugerido de forma más rotunda, dadas las características lingüísticas del texto, por A. Galmés de Fuentes en «Influencias sintácticas y estilísticas del árabe en la prosa medieval castellana», *Boletín de la Real Academia Española* 35 (1955), 225. En el tema ha insistido recientemente E. García Gómez, «Traducciones alfonsíes de agricultura árabe», *Boletín de la Real Academia de la Historia* 181 (1984), 387-397.

[95] E. García Gómez, «Sobre agricultura arábigo-andaluza: cuestiones bibliográficas», *Al-Andalus* 10 (1945), 127-146.

[96] J.M. Millás, «Un manuscrito árabe de la obra de agricultura de Ibn Wāfid», *Tamuda* 2 (1954), 87-96; «Nuevos manuscritos de las obras geopónicas de Ibn Wāfid e Ibn Baṣṣāl», *Tamuda* 2 (1954), 339-344; «Sobre bibliografía agronómica hispanoárabe», *Al-Andalus* 19 (1954), 129-142.

[97] B. Attié, «Les manuscrits agricoles arabes de la Bibliothèque Nationale de Paris», *Hespéris-Tamuda* 10 (1969), 241-261; «L'ordre chronologique probable» pp. 321-322.

con el famoso médico y cirujano del siglo X Abū-l-Qāsim Jalaf b. ᶜAbbās al-Zahrāwī (c. 936-c. 1013) cuya presunta relación con Ibn Wāfid he apuntado en § 4.4. Por otra parte B. Attié ha establecido que este tratado de agricultura al que me estoy refiriendo aparece citado anónimamente por Ibn al-ᶜAwwām, de lo que concluye que el presunto al-Nahrāwī sería un no-musulmán: la conclusión resulta un tanto forzada ya que Ibn al-ᶜAwwām pudo disponer de un manuscrito anónimo como los cinco de estas características de que disponemos en la actualidad.

Puede constatarse, pues, que nos hallamos ante una situación confusa: un texto documentado en seis manuscritos árabes[98] y una traducción castellana amén de en una edición popular norteafricana pero ninguna garantía de que su autor sea Ibn Wāfid. La probabilidad apunta más bien hacia al-Nahrāwī o, más probablemente, al célebre al-Zahrāwī, aunque se han sugerido también otros candidatos. La cuestión queda abierta sin que pueda establecerse, de momento, nada definitivo.

4.5.2.2 *Abū-l-Jayr al-Šaŷŷār al-Išbīlī.*

Aquí la problemática que se plantea es de un orden distinto: disponemos de una obra[99] bien documentada en varios manuscritos[100]

[98] Además de la edición del texto que aparece en el folleto publicado en Fez, 1357 H. atribuido a Abū-l-Jayr, que descubrió García Gómez, ha surgido una edición más reciente (Ammán, 1982) realizada por Ṣ. Ŷarrār y Ŷ. Abū Ṣafya en la que la obra del seudo-Ibn Wāfid aparece atribuida a Ibn Ḥaŷŷāŷ. Cf. J.M. Carabaza, «La edición jordana de *al-Muqniᶜ* de Ibn Ḥaŷŷāŷ. Problemas en torno a su autoría», *Al-Qanṭara* 11 (1990), 71-81.

[99] O tal vez dos. J.M. Carabaza («Un agrónomo del siglo XI: Abū-l-Jayr», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 223-240) sugiere que Abū-l-Jayr habría escrito no sólo el *Kitāb al-Nabāt* que cita Ibn al-ᶜAwwām sino también un *Kitāb al-Filāḥa* que sería una obra distinta. M. ᶜA. al-Jaṭṭābī va mucho más allá que Carabaza al identificar el *Kitāb al-Nabāt* con la *ᶜUmdat al-ṭabīb fī maᶜrifat al-nabāt li-kull labīb*, conocido habitualmente como el Botánico Anónimo (cf. *infra* § 5.5.2): cf. su reciente edición de esta obra en Rabat, 1990 (2 vols.). No tengo aún una opinión formada acerca de la hipótesis de al-Jaṭṭābī. Cf. por último la edición y traducción, todavía más reciente, del *Kitāb al-Filāḥa* de Abū-l-Jayr realizada por J.M. Carabaza (Madrid, 1991).

[100] García Gómez, «Sobre agricultura arábigo-andaluza»; Millás, «Bibliografía agronómica» y «Aportaciones para el estudio de la obra agronómica de Ibn Ḥaŷŷāŷ y de Abū-l-Jayr», *Al-Andalus* 20 (1955), 101-105; Attié, «Les manuscrits agricoles

y no sabemos prácticamente nada de su autor: es sevillano y contemporáneo de Ibn Baṣṣāl al que conoció personalmente. Frecuentaba el jardín botánico de Sevilla. Attié llama la atención sobre el hecho de que Abū-l-Jayr mencione a Ibn Baṣṣāl pero no su obra escrita, de lo que deduce (?) que la obra de Abū-l-Jayr es anterior a la de Ibn Baṣṣāl. Por otra parte Ibn Baṣṣāl habría utilizado el tratado de Abū-l-Jayr en todo lo referente a la clasificación de plantas y descripción de variedades.

Un único comentario: el punto crucial consiste en determinar si el encuentro entre Abū-l-Jayr e Ibn Baṣṣāl tuvo lugar en Toledo o en Sevilla. Lo segundo parece más probable ya que no existe evidencia alguna de que Abū-l-Jayr visitara Toledo. A partir de aquí si se acepta -- como hace Attié -- la afirmación de Ibn Luyūn de que Ibn Baṣṣāl dedicó su obra agronómica a al-Ma'mūn de Toledo (m. 1075) parece que debe concluirse que la redactó en Toledo, antes de emigrar a Sevilla. En tal caso, habría que permutar la cronología relativa de las obras de estos dos autores que propone Attié y Abū-l-Jayr pertenecería, probablemente, a una generación más joven que la de Ibn Baṣṣāl.

4.5.2.3 *Ibn Baṣṣāl*

Su nombre completo es Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Ibrāhīm b. Baṣṣāl. Disponemos, desde 1955, de una edición y traducción fiable del resumen[101] de su obra, el *Kitāb al-qaṣd wa-l-bayān*, la cual -- en su versión completa -- se encontraba en el siglo XIV en el Yemen donde fue utilizada por el monarca al-Malik al-Afḍal para la composición de la *Bugyat al-fallaḥīn*[102]. Al igual que en el caso del

arabes de la B.N. de Paris», 254-257 y «L'ordre chronologique» pp. 322-325; L. Bolens, *Agronomes andalous du Moyen Age* (Ginebra-París, 1981), pp. 25-27 y 236-242, La aportación más reciente es el artículo de Carabaza ya cit.

[101] J.M. Millás y M. Aziman, *Ibn Baṣṣāl: Libro de Agricultura*, Tetuán, 1955. Cf. también Millás, «Nuevos textos manuscritos de las obras geopónicas de Ibn Wāfid e Ibn Baṣṣāl», *Tamuda* 2 (1954), 339-344 y «Sobre la obra agronómica de Ibn Baṣṣāl», *Nuevos Estudios sobre Historia de la Ciencia Española*, Barcelona, 1960, 131-152; Attié, «L'ordre chronologique» pp. 325-326.

[102] R.B. Serjeant, «Agriculture and Horticulture: Some Cultural Interchanges of the Medieval Arabs and Europe», *Oriente e Occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 1971, 535-541.

seudo-Ibn Wāfid conservamos también una traducción castellana medieval, tal vez alfonsí, del resumen de Ibn Baṣṣāl[103]. A través de su obra Ibn Baṣṣāl se nos presenta como un agricultor experimentado, nada erudito (no cita autores), que realizó la peregrinación a La Meca ya que una nota marginal del manuscrito de la *urŷūza* agrícola de Ibn Luyūn (1282-1349) (§ 6.3.3.1) le denomina *ḥāŷŷ* y esto coincide con la multitud de referencias que aparecen en su obra agrícola y en el *Botánico Anónimo* a sus experiencias con cultivos en Sicilia, Siria y Egipto[104]. Vivió en Toledo y en Sevilla y, como hemos visto, en esta segunda ciudad sembró el Jardín del Sultán. He señalado asimismo que debió escribir su obra agrícola en Toledo en donde la dedicó a al-Ma'mūn (m. 1075). Tanto Abū-l-Jayr como al-Ṭignarī (en el año 1100)[105] y el *Botánico Anónimo* le conocieron durante su estancia en Sevilla y este último hace seguir su nombre por la mención «Dios tenga misericordia de él», lo que implica que había muerto en el momento en el que este texto botánico se redactó a principios del siglo XII.

4.5.2.4 *Ibn Ḥaŷŷāŷ*

Conocemos la fecha de la obra *al-Muqniᶜ fī-l-filāḥa* de al-Jaṭīb Abū ᶜUmar Aḥmad b. Muḥammad ibn Ḥaŷŷāŷ al-Išbīlī[106] ya que Ibn al-ᶜAwwām dice que fue redactada en 1073. Según Attié los Banū Ḥaŷŷāŷ eran descendientes de Sara la Goda y se trataba de una familia de *šuᶜūbíes* convencidos[107]. Se trata de un autor fundamentalmente erudito y libresco -- aunque menciona experiencias agronómicas llevadas a cabo en el Aljarafe de Sevilla -- pero, curiosamente, no cita ni un sólo autor andalusí. Sus fuentes explícitas son,

[103] J.M. Millás, «La traducción castellana del "Tratado de agricultura" de Ibn Baṣṣāl», *Al-Andalus* 13 (1948), 347-430.

[104] Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* pp. 14-15 y 17-18; Asín, *Botánico Anónimo* pp. XIII-XIV.

[105] Attié, «L'ordre chronologique» p. 329.

[106] Hay edición de Ṣ. Ŷarrār y Ŷ. Abū Ṣafya, Ammán, 1982 (engloba materiales procedentes del seudo-Ibn Wāfid). Cf. J.M. Carabaza, *Aḥmad b. Muḥammad b. Ḥaŷŷāŷ al-Išbīlī: "al-Muqniᶜ fī-l-Filaḥa". Introducción, estudio y traducción, con glosario*. Granada, 1988 (en microfichas).

[107] B. Attié, «Ibn Ḥaǧǧāǧ était-il polyglotte?», *Al-Qanṭara* 1 (1980), 243-261.

ante todo, clásicas (Yūniyūs, Varrón, Demócrito, Casiano [Basol, Qusṭūs, Anatolio de Berito) y árabes orientales (al-Rāzī, Ṯābit b. Qurra, Abū Ḥanīfa, Ibn Qutayba) con la única excepción de un autor tunecino (Isḥāq b. Sulaymān), a lo que hay que añadir su afirmación de que sigue la tradición agrícola de los *rūm* de al-Andalus (¿mozárabes?). Las citas de Yūniyūs realizadas por este autor motivaron la identificación de este personaje con el célebre agrónomo Junio Moderato Columela[108] pero estudios más recientes tienden a considerar que Yūniyūs sería Vindanio Anatolio de Berito[109] (cf. *supra* § 1.5) y a considerar que Ibn Ḥaŷŷāŷ habría derivado sus fuentes clásicas de traducciones árabes orientales con la excepción, quizás, de una traducción latino-árabe de Marcial de la que habría dispuesto y que habría sido realizada en al-Andalus[110]. Por otra parte, Attié es muy duro en su caracterización de Ibn Ḥaŷŷāŷ ya que afirma que es un falsario como Ibn Waḥšiyya o como el seudo-Qusṭūs[111] ya que inventa autores, inexistentes en la Antigüedad, con el fin de prestigiar ciertas opiniones[112].

4.5.2.5 *Al-Ṭignarī*

Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad ibn Mālik al-Murrī al-Ṭignarī es un personaje relativamente poco estudiado[113] hasta fecha reciente[114].

[108] J. M. Millás, «Aportaciones para el estudio de la obra agronómica de Ibn Ḥaŷŷāŷ y de Abū-l-Jayr». *Al-Andalus* 20 (1955), 87-105; J.M. Millás y L. Martínez Martín, «Un capítulo de la obra agronómica de Ibn Ḥaŷŷāŷ», *Tamuda* 6 (1958), 45-69; Bolens, *Agronomes andalous* pp. 44-49.

[109] R.H. Rodgers, «¿Yūniyūs o Columela en la España Medieval?», *Al-Andalus* 43 (1978), 163-172.

[110] Attié, «Ibn Ḥaǧǧāǧ était-il polyglotte?».

[111] B. Attié, «L'origine d'al-Falāḥa ar-Rūmiyya et du Pseudo-Qusṭūs», *Hespéris-Tamuda* 13 (1972), 139-181.

[112] B. Attié, «La bibliographie du *al-Muqniᶜ* de Ibn Ḥaǧǧāǧ», *Hespéris-Tamuda* 19 (1980-81), 47-74; «L'ordre chronologique» pp. 327-328.

[113] García Gómez, «Sobre agricultura arábigoandaluza» pp. 138-139; J.M. Millás, «Un nuevo manuscrito de la obra agronómica de al-Ṭignarī», *Tamuda* 1 (1953), 85-86; Bolens, *Agronomes andalous* p. 31; Attié, «L'ordre chronologique» pp. 329-330.

Miembro de una noble familia granadina, nació en Ṭignar, una alquería de la Vega de Granada. Escritor y poeta, se destacó por sus habilidades literarias en la corte de ᶜAbd Allāh, último rey zirí de Granada (1075-1090). En el año 1100 se encontraba en Sevilla estudiando medicina con Ibn Luengo (m. 1104-1105) que era, por su parte, discípulo de Ibn Wāfid y maestro del *Botánico Anónimo*. Allí conoció a Ibn Baṣṣāl. Residió en Almería en la corte de los Banū Ṣumādiḥ. Realizó la peregrinación a La Meca ya que Ibn al-ᶜAwwām le llama al-Ḥāŷŷ al-Garnāṭī y residió en varias ciudades andalusíes y norteafricanas.

Su obra agronómica de carácter teórico-práctico, *Zuhrat al-bustān wa-nuzhat al-aḏhān* («Flor del jardín y recreo de las mentes»), fue dedicada a Abū-l-Ṭāhir Tamīm, hijo del emir almorávide Yūsuf b. Tašufīn, la primera vez que éste fue nombrado gobernador de Granada (1107-1110). Se conserva un manuscrito parcial de la obra original así como nueve resúmenes de la misma algunos de los cuales se atribuyen a Abū ᶜAbd Allāh Ḥamdūn (o Ibn Ḥamdūn) al-Išbīlī que a veces ha sido confundido con el propio al-Ṭignarī pero que, tal como sugirió Attié[115], podría ser un alfaquí malequí de ideas integristas del siglo XIV. El análisis del prólogo llevado a cabo por E. García Sánchez parece confirmar esta hipótesis ya que cita fuentes de fines del siglo XIII.

Con al-Ṭignarī termina la relación de agrónomos andalusíes que podemos situar claramente en la época taifa por más que la *Zuhrat al-bustān* de este último pertenezca más bien a la época almorávide y que el seudo-Ibn Wāfid, si realmente fue escrito por Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī, corresponda tal vez a la época califal a la que también pertenecería el anónimo andalusí del manuscrito 4764 de la Biblioteca Nacional de París que Attié considera que fue escrito por un agrónomo cristiano[116]. Podemos pasar, a continuación, a ocuparnos de las

[114] E. García Sánchez, «El tratado agrícola del granadino al-Ṭignarī», *Quaderni di Studi Arabi* 5-6 (1987-88), 278-291; «Al-Ṭignarī y su lugar de origen», *Al-Qanṭara* 9 (1988) 1-11; «Agricultura y legislación islámica: el prólogo del Kitāb Zuhrat al-bustān de al-Ṭignarī», *Ciencias de la naturaleza en al-Andalus* I, 179-193.

[115] Attié, «L'origine d'al-Falāḥa al-Rūmiyya» pp. 163-164.

[116] B. Attié, «Les manuscrits agricoles arabes de la Bibliothèque Nationale de Paris», *Hespéris-Tamuda* 10 (1969), 253 n. 9; «L'ordre chronologique» pp. 317-321. Tal como he señalado en § 1.5 este texto ha sido editado y traducido por A.C. López (*Kitāb fī tartīb awqāt al-girāsa wa-l-magrūsāt. Un tratado agrícola andalusí anónimo*, Granada, 1990) quien no se muestra de acuerdo con Attié y sugiere que

ideas expuestas en estos tratados de agronomía y a valorar su importancia científica.

4.5.3 CONFLUENCIA DE TRADICIONES.

La agronomía andalusí aparece como el resultado de una confluencia de tradiciones. La influencia predominante parece ser la de la *Filāḥa Nabaṭiyya* («Agricultura Nabatea») que los manuscritos atribuyen a Ibn Waḥšiyya autor del siglo X que habría traducido su obra del *caldeo*. Si esta afirmación es manifiestamente falsa, parece claro, en cambio, que la *Agricultura Nabatea* recoge materiales de una tradición agrícola babilónica. Basta un solo ejemplo para documentar esta afirmación: los agrónomos andalusíes toman de Ibn Waḥšiyya sus ideas sobre la reproducción sexual de las plantas y, muy concretamente, de la palmera así como procedimientos para su fecundación artificial[117]. Estas ideas circulaban en al-Andalus a niveles no técnicos y, de este modo, Ibn Zaydūn (1003-1070) dice, en un poema dirigido a al-Muᶜtamid: «Tú has fecundado mi espíritu: cosecha, pues, sus primeros frutos; los frutos de la palmera pertenecen a aquel que ha practicado la polinización»[118]. Ahora bien, estas técnicas estaban en uso en Babilonia en el siglo IX a. C.[119].

La *Agricultura Nabatea* se refleja frecuentemente en los agrónomos andalusíes del siglo XI: un estudio reciente de Muhammad el-Faiz ha detectado su influencia en Ibn Baṣṣāl, autor que no cita fuentes, y en al-Ṭignarī y cree, en cambio, que no repercutió en la

su autor pudiera ser el misterioso Ibn Abī-l-Ŷawād citado por Ibn al-ᶜAwwām (§ 5.5.4).

[117] Cf. M. el-Faiz, «Contribution du Livre de l'Agriculture Nabatéenne à la formation de l'agronomie andalouse médiévale», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 163-177 (cf. pp. 169-170 sobre una cita de Ibn Baṣṣāl conservada por al-Ṭignarī); J.A. Banqueri, *Libro de Agricultura. Su autor el doctor excelente Abu Zacaria Iahia Aben Mohamed Ben Ahmed Ebn el Awam, sevillano*, Madrid, 1802 (reimpresión Madrid, 1988) I, 576-577. M. Forcada me recuerda que una alusión a la fecundación artificial de la palmera aparece ya en el *Calendario de Córdoba*: cf. R. Dozy y Ch. Pellat, *Le Calendrier de Cordoue*, Leiden, 1961, pp. 74-75.

[118] Pérès, *Poésie andalouse* p. 199.

[119] G. Sarton, «The artificial fertilization of date palms in the time of Ashur-Nasir-Pal, B.C. 865-60», *Isis* 21 (1934), 8-13; «Additional note on date culture in ancient Babylonia», *Isis* 23 (1935), 251-252.

obra de Ibn Ḥaŷŷāŷ -- cuestión sobre la que convendría ahondar-- el cual cita, sobre todo, el *Kitāb al-Filāḥa al-Rūmiyya* de Qusṭūs y el *Kitāb filāḥat al-arḍ* de un tal Balyās identificado con Anatolio de Berito o con Apolonio de Tiana[120]. En lo que respecta a la *Filāḥa Rūmiyya*, la obra pretende ser una traducción directa de una obra griega de un tal Qusṭūs pero parece claro que se trata de una falsificación: un cincuenta por ciento de los materiales de la obra derivan de Casiano Basso mientras .que el resto está constituido por materiales nuevos que, en buena parte, son extraños a la tradición greco-bizantina. La redacción actual del conjunto parece haber sido realizada en el siglo IX por un tal ᶜAlī b. Muḥammad b. Saᶜd[121].

Todos estos materiales derivan de una tradición agronómica propia del Próximo y Medio Oriente y del Mediterráneo Oriental a la que también pertenece la tradición egipcia representada por Bolos Demócrito (fl. c. 200 a. C.) así como otros autores greco-bizantinos. Pero en la agricultura andalusí se encuentra también presente, además de una tradición botánica árabe oriental representada por el *Kitāb al-nabāt* («Libro de las plantas») de Abū Ḥanīfa al-Dīnawarī (m. c. 895), una tradición propia del Mediterráneo Occidental en la que aparece, por ejemplo, el cartaginés Magón -- cuya obra fue objeto de una traducción latina y otra griega y fue transmitida por autores posteriores como Varrón y Diófano de Bitinia -- y los romanos Varrón y Columela. Repetidamente he mencionado las polémicas a que ha dado lugar la cuestión de una recepción directa en al-Andalus de la obra de los agrónomos latinos así como la postura comúnmente aceptada en los estudios más recientes que, con excepciones (el caso de Marcial parece el más claro), consideran que la recepción fue indirecta: a través de las *Geoponika*, la gran compilación bizantina elaborada en tiempos de Constantino Porfirogéneta que fue objeto de una traducción siriaca y, a partir de aquí, de una versión árabe. Este es un tema sobre el que, tal vez, no se haya dicho aún la última palabra (L. Bolens sigue defendiendo una recepción directa de Columela) y habrá que esperar un análisis desapasionado basado en

[120] P. Sbath, «L'ouvrage géoponique d'Anatolius de Berytos (IVᵉ siècle)», *Bulletin de l'Institut d'Egypte* 13 (1931), 47-54; M.C. Vázquez de Benito, «El manuscrito núm. XXX de la Colección Gayangos (fols. 1-98)», *Boletín de la Asociación Española de Orientalistas* 9 (1973), 73-124 (publicado también como libro independiente: Madrid, 1974).

[121] B. Attié, «L'origine d'al-Falāḥa al-Rūmiyya et du Pseudo-Qusṭūs», *Hespéris-Tamuda* 13 (1972), 139-181.

buenas ediciones críticas, sobre todo de Ibn Ḥaŷŷāŷ. Un problema distinto del de las fuentes librescas de la agricultura andalusí es el de la obvia influencia que en ella ejercieron las prácticas de los campesinos de origen hispano que están ampliamente documentadas a través de los nombres romances de las plantas conservados por toda la tradición botánica de la que he hablado en § 4.4 y en los que aparecen esporádicamente aplicados al instrumental agrícola[122]: es el caso, quizás, de los niveles de tierras denominados *murŷiqāl* (posiblemente un mozarabismo derivado de *murciégalo*/ *murciélago*, dada la semejanza de su forma con la de un murciélago con las alas desplegadas)[123] y *qubṭāl* (*cubital*, *codal*), la *barrāna* (*barrena*, instrumento de madera que sirve para hacer agujeros) y, finalmente, el *šanŷūl* (*sanchuelo*, especie de rastrillo en forma de mano de hombre con tres dedos).

4.5.4 EL DESARROLLO DE UNA TEORIA AGRONOMICA.

4.5.4.1 *Generalidades*[124].

Hemos visto ya que la agronomía andalusí surge como resultado de un contacto con la mejor literatura agronómica disponible que se contrasta con el contínuo recurso a la experiencia, documentada en las repetidas referencias que a ella hacen los agrónomos andalusíes y en la existencia de jardines botánicos a los que ya me he referido. Por otra parte existe un intento serio de estructurar una teoría y, por ello, de convertir la agronomía en una auténtica ciencia que aparece como profundamente influida por dos disciplinas afines: botánica/farmacología y medicina. No debe esto extrañarnos si repasamos

[122] M.D. Guardiola, «Instrumental agrícola en los tratados andalusíes», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 107-149.

[123] Simonet, *Glosario* págs. 390-391. El origen andalusí del *murŷiqāl* es, no obstante, totalmente hipotético ya que un instrumento similar aparece descrito por el astrónomo e ingeniero oriental al-Karaǧī (fl. 1017): cf. R. Martí, «La tradició oriental de la irrigació a al-Andalus: les tècniques de construcció dels *qanāt*(s) de Mayūrqa», En M. Barceló, M.A. Carbonero, R. Martí y G. Rosselló-Bordoy, *Les aigües cercades. (Els qanāt(s) de l'illa de Mallorca)*, Palma de Mallorca, 1986, pp. 53-69 (cf. p. 55).

[124] Bolens, *Agronomes andalous* pp. 40-56, 88-89, 239.

lo que ya hemos visto en § 4.5.1 y 4.5.2 acerca de la formación intelectual de los agrónomos andalusíes: es posible que el gran médico Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī sea el fundador de la escuela agronómica andalusí, que Ibn Wāfid fuera su discípulo y que ambos escribieran sobre el tema (dejemos, de momento, de lado el problema de determinar el autor del texto agronómico atribuido por Millás a Ibn Wāfid); al-Ṭignarī es también médico, discípulo de Ibn Luengo[125], quien fue discípulo, a su vez, de Ibn Wāfid y maestro del *Botánico Anónimo* al que me referiré en § 5.5.2, personaje cuya obra tiene obvias conexiones con la agronomía.

La relación evidente con la tradición botánico-farmacológica lleva a los agrónomos andalusíes a un claro interés por establecer clasificaciones de las plantas -- tendencia cuya mejor expresión la veremos, en el siglo siguiente, precisamente en la obra del *Botánico Anónimo* --. De esta manera Ibn Baṣṣāl establece que los injertos sólo pueden realizarse entre plantas de la misma naturaleza, razón por la cual establece una clasificación de las familias de plantas (en su mayoría se trata de árboles frutales) en:

- oleosas: olivo, laurel, árbol del incienso.
- gomosas: albaricoquero, almendro, cerezo, ciruelo.
- lechosas: higuera, morera.
- acuosas: manzano, peral, membrillero, granado, vid.
- árboles con agua o savia de hoja perenne semejantes a las oleosas (naranjo, cidro), a las gomosas (pino, ciprés), a las lechosas (adelfa) y a las acuosas (limón)[126].

Intentos similares se encuentran en Abū-l-Jayr así como, más tarde, en Ibn al-ᶜAwwām y en ellos se ha querido ver un precedente de la clasificación taxonómica de las plantas llevada a cabo, a principios del siglo XII, por el *Botánico Anónimo*[127]. Veremos, por otra parte, que el propio Ibn Baṣṣāl lleva a cabo intentos de clasificación de tierras, aguas y abonos que, junto con el aire, constituyen los «cuatro elementos» básicos de la agricultura en una teoría agronómica íntimamente ligada con la teoría humoral hipocrático-galénica, que establece una correspondencia entre los cuatro elementos de Empédocles, los cuatro humores del cuerpo humano y las dos parejas

125 Asín, *Botánico Anónimo* p. XV.

126 Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* pp. 117-123.

127 Bolens, *Agronomes andalous* pp. 287-300.

de cualidades elementales (cálido-frío, húmedo-seco). El esquema básico es el siguiente:

- Tierra -- Melancolía -- Fría y seca.
- Agua -- Flema -- Fría y húmeda.
- Aire -- Sangre -- Cálida y húmeda.
- Fuego -- Cólera -- Cálido y seco.

Hay salud cuando existe equilibrio de los cuatro humores y enfermedad cuando uno de ellos predomina sobre los demás. En el momento en el que surge la enfermedad debe restablecerse el equilibrio humoral bien sea purgando el humor excesivo, bien introduciendo en el organismo un fármaco de cualidades opuestas a las del humor cuyo exceso produce la enfermedad.

El mismo esquema se aplica a la agronomía andalusí que, aquí, se deja influir por la tradición naturalista de Aristóteles y Teofrasto y por la tradición médica de Hipócrates y Galeno. Se conservan los cuatro elementos de Empédocles pero el abono ocupa el lugar del fuego. Los pares de cualidades opuestas son los mismos salvo en el caso del abono: de éste se dice que es cálido (cualidad primaria) pero adquiere humedad (cualidad secundaria) por las materias líquidas que se le añaden (aguas corrientes, pluviales, orina etc.). El principio básico es expuesto por Abū-l-Jayr: «La mayor parte de los males que afectan a las plantas tienen únicamente por origen los cuatro elementos: el agua, el aire, el estiércol y la tierra». El principio fundamental de la curación (complementariedad de los elementos del remedio y del cuerpo enfermo) se aplica minuciosamente preparando compuestos cuya mezcla esté adecuada a la naturaleza de la enfermedad y a las características del suelo. Pasemos, ahora, revista a estos cuatro elementos de la teoría agronómica.

4.5.4.2 *La tierra*[128].

Es fría y seca y, por ello, para que sea cultivable debe adquirir, moderadamente, calor y humedad. Adquirirá el calor del sol y del aire mediante el laboreo, así como también del abono: no deberá abusarse en el proceso de calentar la tierra sobre todo con el abono, que tiene un carácter particularmente enérgico, ya que la tierra

[128] Bolens, *Agronomes andalous* pp. 58-87.

puede desecarse y esterilizarse. Igualmente la tierra se humedecerá mediante el agua, que reconcilia el fuego y la tierra, procedente de las capas subterráneas, de la lluvia y del regadío.

La tierra puede ser buena o mala para el cultivo. Los agrónomos andalusíes realizan una clasificación detallada de las tierras que, en general, resulta acertada. En esta clasificación intervienen muchos más factores que en la de los agrónomos clásicos, razón por la cual resulta más completa e introduce novedades como la de la valoración de las tierras negras (ricas en materia orgánica), que eran consideradas inutilizables en la Antigüedad. Se trata de una clasificación rigurosa que sólo mejorará en época muy reciente gracias al desarrollo de la Química. Si consideramos, por ejemplo, la clasificación de Ibn Baṣṣāl[129], se verá que se basa en criterios externos (color y textura) y, una vez más, en el grado en el que los distintos tipos de tierras participan de las cuatro cualidades básicas (calor-frío, humedad-sequedad) a las que se añade un par más (salinidad-no salinidad). Los agrónomos andalusíes siguen a Aristóteles al considerar que la tierra se nutre de materia orgánica -- por este motivo insisten en el abono y en la práctica del barbecho -- lo que explica ciertos procedimientos para curar un árbol enfermo o «perezoso»: enterrar en la base de un olivo una mezcla de estiércol y huesos de aceituna que conserven parte de su pulpa. Se trata de alimentar a la planta con materia orgánica.

Frente a los agrónomos clásicos que descartan las tierras malas o mediocres, los andalusíes pretenden recuperarlas recurriendo a mezclas de tierras, a la determinación del cultivo adecuado para una tierra dada y, por último, mediante el trabajo intensivo de la tierra que hace hincapié en el recurso al laboreo y al abono. Esta insistencia en el trabajo queda de manifiesto en el interés que demuestran los agrónomos andalusíes en la nivelación de los terrenos, describiendo para ello instrumentos para medir desniveles como el *murŷiqāl* y el *qubṭāl* ya mencionados, así como otros instrumentos elementales o absolutamente rústicos que permiten crear un sistema de puntos de mira: pivotes agujereados o tejas huecas ajustadas una a otra formando un pequeño canal. En otras ocasiones aparecen referencias a instrumentos más sofisticados como la balanza o el astrolabio. Este último -- del que sólo se utilizaría el círculo graduado del dorso y la alidada de pínulas, de forma análoga a como sucederá mucho más

[129] Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* pp. 45-54.

tarde con el astrolabio náutico -- empleaba como punto de referencia una tabla en la que se habían trazado círculos de distintos colores a la que se enfocaban las pínulas de la alidada desde el lugar a partir del cual se pretendía medir la pendiente[130]. Nivelar un terreno o bien medir su desnivel para facilitar la irrigación o medir la pendiente de un *qanāt* es tarea de la que se habían ocupado los astrolabistas andalusíes en cuyos tratados de uso del instrumento aparecen frecuentemente problemas característicamente topográficos como la determinación de la profundidad de un pozo o de la distancia entre dos lugares, con alusiones explícitas a la medición de desniveles y su aplicación al transporte de aguas de un lugar a otro[131]. Esta tarea la debían realizar agrimensores como los que aparecen documentados, a partir del siglo XIII, en la Valencia cristiana, con el nombre de *livelladors* («niveladores»)[132].

4.5.4.3. *El agua*[133] *y las técnicas hidráulicas.*

La función del agua es regular la temperatura del suelo ya que en invierno lo calienta y en verano lo enfría. Los agrónomos andalusíes son conscientes, no obstante, de la necesidad de una dosificación adecuada del regadío, algo que implica un conocimiento del ciclo biológico de cada planta, y advierten los peligros del exceso de riego y del agua estancada.

Si bien se acepta el principio del carácter frío y húmedo del agua, aparece una tendencia -- al igual que en el caso de la tierra -- al realismo práctico y a la clasificación de las aguas. Se establece, de este modo, que el agua de los pozos es particularmente húmeda y fría y, en el caso de que resulte excesivamente fría para determinados cultivos, puede ser calentada añadiéndole abono humano. El agua

[130] R. Martí, «La tradició oriental de la irrigació a al-Andalus», 55-57. Cf. también M.D. Guardiola, «Instrumental agrícola» pp. 125-126 (s.v. *iṣṭarlāb*).

[131] R. Martí y M. Viladrich, «En torno a los tratados de uso del astrolabio hasta el siglo XIII en al-Andalus, la Marca Hispánica y Castilla», T.E.A.E.S.A.X, 57-62.

[132] T.F. Glick, *Regadío y sociedad en la Valencia Medieval*, Valencia, 1988, 363-367.

[133] Bolens, *Agronomes andalous* pp. 174-183.

de los ríos, en cambio, lleva frecuentemente materias en suspensión y, por ello, resulta más cálida y seca que la de los pozos. Aparece, pues, el agua, como complemento del abono.

La agronomía andalusí se caracteriza por su énfasis en los cultivos de regadío y por el desarrollo de las técnicas hidráulicas lo cual, para Glick[134], está íntimamente relacionado con la introducción de nuevos cultivos entre los que se encuentran el arroz, la caña de azúcar, el algodón[135], la naranja[136], la sandía, la berenjena etc., todos ellos oriundos de climas tropicales o semitropicales, que no podían cultivarse en el Mediterráneo sin regadío. Las técnicas hidráulicas aplicadas, a la mayoría de las cuales aluden frecuentemente los tratados de agronomía son los pozos, los *qanāts*, las presas de derivación o azudas y las norias. En lo que respecta a estos tres últimos, Glick[137] señala que se trata de ingenios inventados en el Próximo Oriente antiguo (particularmente Persia), que se difundieron de forma limitada por el Mediterráneo, sobre todo bajo la dominación romana, fueron adoptados por los musulmanes los cuales intensificaron su uso y los perfeccionaron, especialmente en al-Andalus y que, finalmente, a partir de aquí se difundieron tanto hacia el Norte de Africa como hacia América. Comentemos brevemente la incidencia de estas técnicas hidráulicas en el contexto andalusí de los siglos X-XI y observemos que, de entre las cuatro mencionadas más arriba, sólo dos (pozos y norias) aparecen citadas por los agrónomos andalusíes.

En lo que respecta a los *pozos*[138] debe señalarse que los agrónomos andalusíes explican con detalle el tipo de vegetación que debe buscarse para tener garantías de la presencia de agua. Exponen asimismo ciertas técnicas, heredadas de la *Agricultura Nabatea*, para determinar si hay suficiente humedad en la tierra: enterrar durante una noche, a una profundidad adecuada, un recipiente semiesférico de cobre, plomo o arcilla en cuyo interior se sitúa una pelota de

134 Glick, *Regadío y sociedad* pp. 262-263. Sobre las técnicas hidráulicas cf. la excelente introducción general de D.R. Hill, «Tecnología andalusí», L.C.A. pp. 157-162.

135 J.M. Millás, «El cultivo del algodón en la España Arabe», *Boletín de la Real Academia de la Historia* 139 (1956), 463-472.

136 M.C. Montoro, «El cultivo de los cítricos en la España Musulmana», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 263-315.

137 Glick, *Regadío y sociedad* p. 252.

138 Bolens, *Agronomes andalous* pp. 158-162.

lana y recuperarla, para exprimirla, al día siguiente. Otros procedimientos aspiran a establecer el sabor que tendrá el agua del pozo: se perforará un pequeño agujero para tomar un puñado de tierra que se depositará en un recipiente sobre el que se verterá agua dulce, dejándola reposar hasta el día siguiente para que se impregne del sabor de la tierra. Conviene señalar por último que, gracias también a la influencia de la *Agricultura Nabatea*, nuestros tratados andalusíes describen la técnica para la construcción de pozos artesianos.

Los *qanāts* constituyen un procedimiento para la captación de aguas más elaborado que los simples pozos. De los orígenes de esta técnica en al-Andalus me he ocupado ya en § 2.3 donde establecí que, probablemente, era conocida desde el siglo VIII y, con toda seguridad, desde el IX. El desarrollo de este procedimiento debió tener una etapa de auge en los siglos X y XI, dentro de un conjunto de obras de pequeña hidráulica que tienden a crear zonas de regadío[139], pero hay que ser muy prudente con la cronología dada la escasez de fuentes escritas y los escasos resultados que se han obtenido, hasta el momento, con las técnicas arqueológicas a la hora de fechar un *qanāt*[140]. Durante los últimos años se han llevado a cabo trabajos de esta índole que han permitido establecer la existencia de una importante red de *qanāts* en la isla de Mallorca[141] y estos, en el caso de que sean de origen árabe, no pueden fecharse antes de la conquista del 902-903. También parecen pertenecer al siglo X los restos de un «viaje» de época islámica excavados en la Plaza de los

[139] Cf. M. Barceló, H. Kirchner, J.M. Lluró, R. Martí, J.M. Torres, *Arqueología medieval. En las afueras del «medievalismo»*, Barcelona, 1988, que contiene ensayos de interpretación muy sugerentes de algunos conjuntos hidráulicos andalusíes. Cf. también E. Manzano, «El regadío en al-Andalus: Problemas en torno a su estudio», *En la España Medieval* V (Madrid, 1986), 617-632; R. Martí, «Oriente y Occidente en las tradiciones hidráulicas medievales», *El agua en las zonas áridas: Arqueología e Historia. I Coloquio de Historia y Medio Físico*, Almería, 1989, pp. 421-440.

[140] Véase una descripción de los *qanāts* conocidos (aunque algunos parezcan, más bien, sistemas de canalización, y no de captación, de aguas) en B. Pavón, *Tratado de arquitectura hispanomusulmana. I. Agua*, Madrid, 1990, pp. 204-215.

[141] M. Barceló, M.A. Carbonero, R. Martí, G. Rosselló-Bordoy, *Les aigües cercades (Els qanāt(s) de l'illa de Mallorca*, Palma de Mallorca, 1986.

Carros en Madrid[142]. Nada sabemos, en cambio, sobre los orígenes del *qanāt* descubierto en el sur de Cataluña[143]. Lo único claro es que los *qanāts* mallorquines estudiados no son únicamente galerías en declive a partir de un pozo madre, con una serie de pozos de desescombro intermedios, sino que se constituyen en el origen de un complejo sistema hidráulico con una serie de albercas o zafareches (*ṣahrīŷ*, pl. *ṣahārīŷ*), situadas tras las galerías de drenaje, y que sirven para distribuir el agua entre las distintas zonas irrigadas. El sistema hidráulico se cierra, frecuentemente, con un molino que aprovecha la fuerza motriz del agua residual. Todo ello enlaza con lo que cabría esperar que interesara a los agrónomos andalusíes los cuales, de manera sorprendente, no citan en modo alguno los *qanāts* y se limitan a ocuparse de la construcción de canales de distribución del agua a la salida de la alberca pero no de la captación de la misma: todo ello a pesar de conocer -- es una de sus dos fuentes básicas, en materia de hidráulica, a partir del seudo-Ibn Wāfid -- el tratado sobre las aguas contenido en la *Agricultura Nabatea*[144] en donde se da información suficiente para construir un *qanāt*. Esta carencia se debe, tal vez, como sugiere R. Martí, a que su construcción era tarea propia de la competencia de un *muhandis* (ingeniero) y no de la de un agrónomo[145]. Es posible, por otra parte, que conservemos el nombre de uno de estos ingenieros andalusíes constructores de *qanāts* ya que, como señala Colin[146], un personaje de origen desconocido, ᶜAbd (o ᶜUbayd Allāh) ibn Yūnus al-Muhandis introdujo en Marrākuš la técnica de construcción de galerías subterráneas para la captación de aguas en tiempo del soberano almorávide ᶜAlī ibn Yūsuf ibn Tašufīn (1107-1143): puede tratarse de uno de tantos científicos andalusíes que estuvieron - como veremos - al

142 C. Priego, «Origen y evolución urbanística de la Plaza de los Carros», *Madrid del siglo IX al XI*, Madrid, 1990, pp. 267-275.

143 J. Llopart, C.M. Marugán, M. Sancho, «El qanāt de La Sínia, a Olesa de Bonesvalls. Un sistema de captació d'aigües», *Acta Historica et Archaeologica Medievalia* 9 (1988), 443-456.

144 T. Fahd, «Un traité des eaux dans *al-Filāḥa n-Nabaṭiyya* (hydrogéologie, hydraulique agricole, hydrologie)», *La Persia nel Medioevo*, Roma, 1971, pp. 277-326.

145 R. Martí, *La tradició oriental* p. 61.

146 G.S. Colin, «La noria marocaine et les machines hydrauliques dans le monde arabe», *Hespéris* 14 (1932), 22-60 (cf. pp. 17-18).

servicio de los almorávides los cuales habrían visto en al-Andalus a fines del siglo XI el desarrollo adquirido por estas técnicas.

Los agrónomos andalusíes tampoco mencionan el *azud* o *azuda*, arabismo castellano que deriva de *al-sudd* (presa, dique), un artificio hidráulico cuyo origen no está claro pero que era conocido en el mundo árabe desde tiempo inmemorial ya que, desde el s. VI a. de C., existía en el Yemen el famoso dique de Mārib, una presa de derivación que cerraba el paso del Wādī Aḏana y permitía retener el agua cuando, dos veces al año (primavera y fin del verano) se producían lluvias torrenciales que daban lugar a una riada (*sayl*). Gracias al dique, el agua podía subir e irrigar una superficie de unas 9600 hectáreas y la región de Mārib fue, durante mucho tiempo, una zona extraordinariamente fértil en la que se obtenían tres cosechas anuales. Las fuentes epigráficas dan noticia de varias rupturas y sucesivas reconstrucciones de la presa a partir del siglo IV de nuestra era, pero la ruptura definitiva que acabó con el desarrollo agrícola de la zona y a la que alude el *Corán* (34,16) parece haber tenido lugar a principios del siglo VII[147].

Este tipo de presas de derivación (no de almacenamiento o retención de aguas, de invención muy posterior) fue utilizado y aplicado al regadío tanto en Siria como en el Norte de Africa y en el Levante y Sur de España, en zonas en las que la falta de grandes ríos hace depender la posibilidad de irrigación del aprovechamiento de las riadas esporádicas o bien en las que el uso de azudes permite elevar el agua del río para regar una zona situada a nivel superior: tal es el caso de los azudes situados en el río Guadalentín, en la región de Lorca, al que aluden los historiadores al-Ḥimyarī y al-ᶜUḏrī en textos que cita Glick[148]. Se trata de obras de pequeña hidráulica muy distintas de las grandes presas romanas, destinadas fundamentalmente al suministro de agua de las ciudades y sólo rara vez al regadío[149].

La captación de aguas mediante pozos o en los ríos exigía el diseño de mecanismos elevadores uno de los cuales, como hemos

147 W.W. Müller, «Mārib», *E.I.*^{2} VI, 543-552.

148 Glick, *Regadío y sociedad* pp. 252-254 y 278 n. 9.

149 M. Barceló, «La qüestió de l'hidraulisme andalusí», en *Les aigües cercades*, 9-36 (cf. p. 13). Sobre las presas cf. también J. Caro Baroja, «Norias, azudas, aceñas», *Revista de Dialectología y Tradiciones Populares* 10 (1954), 29-160.

visto, es el mismo azud. Existen, sin embargo, otros de los que el más elemental es la *ciconia* latina (cigüeñal), cubo con contrapeso denominado *šādūf* en Egipto (en donde todavía se utiliza) y *jaṭṭāra, gayḍūn* o *lawlab* en árabe andalusí[150]. Más compleja resulta la noria ligera movida por tracción animal o humana, utilizada para extraer el agua de un pozo o de un río, a la que aluden frecuentemente los textos agronómicos y que recibe el nombre de *sāqiya* en Egipto y *sāniya* en al-Andalus (de ahí la *aceña* castellana y la *sinia* catalana) por más que los puristas insistan en que debe denominarse *dawlab* o *dūlab*[151]. Estos mecanismos fueron introducidos en al-Andalus a partir del siglo VIII y sabemos que, en el siglo XI, abundaban en el Guadalquivir[152]. Más tardía debió ser la introducción de las grandes norias (*nāᶜūra*), de origen sirio que debieron aparecer en al-Andalus en los siglos IX y X: en el siglo IX, ᶜAbd al-Raḥmān II realizó un conjunto importante de obras hidráulicas para traer agua potable a Córdoba pero, entre ellas, no se encuentra la construcción de la gran noria de la Albolafia que surge mucho más tarde, en época almorávide. Esta labor fue continuada, en el siglo X, por ᶜAbd al-Raḥmān III quien tuvo una almunia junto al río, irrigada por una noria, que recibió el nombre de «Almunia de la noria». En lo que respecta al siglo XI, se continúan estas obras de gran hidráulica en las distintas capitales de los taifas: al-ᶜUḏrī menciona, por ejemplo, los trabajos de esta índole llevados a cabo por al-Muᶜtaṣim bi-llāh quien trajo agua hasta la mezquita aljama de Almería y se preocupó de la irrigación de los jardines de al-Ṣumādiḥiyya mediante una acequia de la que el agua se extraía mediante aceñas (*sawānī*)[153]. Más claras resultan las referencias a Sevilla donde al-Muᶜtamid construyó una noria en el Guadalquivir. Lo mismo hizo en Toledo al-Ma'mūn el cual por otra parte, al igual que ᶜAbd al-Raḥmān III, dispuso de una almunia una de cuyas estancias se denominó «salón de la noria»

150 G.S. Colin, «La noria marocaine» pp. 35-36.

151 J.M. Fórneas, «Un texto de Ibn Hišām al-Lajmī sobre las máquinas hidráulicas y su terminología técnica», *Miscelánea de Estudios Arabes y Hebraicos* 23 (1974), 53-62.

152 Colin, «La noria marocaine» p. 36.

153 Al-ᶜUḏrī, *Tarṣīᶜ* p. 85.

(*maŷlis al-nāᶜūra*)[154]. El enorme interés que este monarca sintió por el agua se documenta con los datos que conocemos acerca del pabellón que hizo construir en su palacio de Toledo: en medio de una alberca se encontraba un quiosco en forma de cúpula, construido en vidrio de colores con incrustaciones de oro. El agua era elevada, mediante un dispositivo ingenioso, hasta la cima de la cúpula y, desde allí, se deslizaba sobre las paredes exteriores formando una especie de túnica líquida sin solución de continuidad: al-Ma'mūn se sentaba, entonces, en su centro sin que le tocara una gota de agua. Por la noche se encendían cirios en el interior de la cúpula, lo que producía un efecto prodigioso gracias a la irisación de la luz[155]. Lo anterior es una digresión dentro del tema que aquí me ocupa pero tiene un indudable interés en cuanto constituye un indicio de un nivel notable de desarrollo tecnológico. Para terminar con las norias señalemos que su dispersión geográfica se corresponde perfectamente con aquellas zonas de la Península en las que los musulmanes tuvieron un dominio estable: el mapa trazado por Caro Baroja en el que se sitúan todas las referencias a máquinas de esta índole muestra que, en su inmensa mayoría, se sitúan al sur del Duero y del Ebro. Esta dispersión coincide perfectamente con la de todos aquellos topónimos derivados de *al-nāᶜūra* (*noria, (a)ñora, nora, anoria, noura*) estudiados por Alvar[156]. Todo ello apunta a una difusión de las norias que tuvo lugar, fundamentalmente, a partir del siglo X.

4.5.4.4 *El aire y el laboreo de la tierra*[157].

El laboreo de la tierra constituye uno de los procedimientos básicos para calentarla ya que permite que ésta entre el contacto con el calor del aire y purgue sus malos humores. Los agrónomos

[154] Sobre grandes norias en al-Andalus, además de la bibliografía ya citada cf. L. Torres Balbás, «Las norias fluviales en España», *Al-Andalus* 5 (1940), 195-208; «La Albolafia de Córdoba y la gran noria toledana», *Al-Andalus* 7 (1942), 461-469; Pavón, *Tratado de arquitectura* I, 279-297.

[155] Pérès, *Poésie andalouse* pp. 150-151.

[156] M. Alvar, «El arabismo (an) naᶜūra y su difusión en la toponimia peninsular», *Boletim de Filologia* 16 (1956), 1-13.

[157] Bolens, *Agronomes andalous* pp. 90-92 y 98-123.

andalusíes recomiendan la práctica tanto del laboreo profundo como del laboreo superficial y especifican con detalle el tipo de cultivo y tierras a los que corresponde cada sistema de laboreo. A esto corresponde un utillaje agrícola extraordinariamente diversificado, más completo que en la agronomía clásica y que en la renacentista, que supondrá una cierta regresión. Los textos analizados dan la impresión de la práctica de una explotación intensiva, sin economía de mano de obra, siempre en lucha contra el clima que debe ser neutralizado por una plétora de operaciones diversas. Un ejemplo basta: cuando Ibn Baṣṣāl habla del cultivo del algodón, especifica que deben darse diez labores a la tierra en la que se pretende sembrar y añade que, en Sicilia, el número de labores es aún mayor, ya que el algodón se planta en tierra gruesa que los exige en mayor grado[158].

4.5.4.5 *Otros procedimientos para calentar la tierra: el abono.*

Para calentar la tierra, los agrónomos andalusíes recomiendan, además del laboreo: el *barbecho* (arar y dejar descansar la tierra) y la *rotación de cultivos*, heredada de la tradición clásica, en la que se recurre en general a la alternancia entre leguminosas y cereales añadiendo, a veces, períodos de reposo. En otros casos se recurre a dedicar el campo a terreno de pastos, con lo que el beneficio obtenido no deriva sólo de la rotación sino también del suministro de abonos y del laboreo gratuito obtenido por las pisadas de los animales que revuelven la tierra. Frecuentemente se plantan legumbres con raíces largas, como el nabo, antes del cultivo principal[159]. Ibn Baṣṣāl, por su parte, recomienda enterrar verdes las leguminosas (altramuces, algarrobas, lentejas) ya que constituyen un gran alimento para la tierra, equivalente a un buen abono[160].

El *abono*[161], por su parte, constituye el método esencial para calentar la tierra aunque los agrónomos andalusíes son conscientes de que deben aplicarse con precaución habiendo observado los riesgos de abonar en exceso. Con frecuencia, se asocia a la irrigación

[158] Millás, «El cultivo del algodón»; Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* pp. 151-152.

[159] Bolens, *Agronomes andalous* pp. 90-92 y 124-143.

[160] Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* p. 31.

[161] Bolens, *Agronomes andalous* pp. 184-186, 188-206.

(la tierra requiere calor y humedad para contrarrestar su frialdad y sequedad) esparciendo el abono en el agua corriente y en los canales de irrigación. Al igual que los agrónomos clásicos, los andalusíes recomiendan abonar con *paja*: se siegan las espigas a media altura para arar luego enterrando los rastrojos. Como aportación nueva de la tradición andalusí hay que señalar la clasificación que se lleva a cabo de los distintos tipos de paja: nuestros agrónomos recomiendan, por ejemplo, la paja de habas, trigo y cebada para las tierras saladas. Se considera que la paja es moderadamente cálida y seca, razón por la que se utiliza cuando una planta no soporta el abono cálido pero, para contrarrestar su efecto desecante, se mezcla frecuentemente con la hez del aceite de oliva.

Los *abonos animales*, por otra parte, son los abonos por excelencia: no existe acuerdo entre los autores sobre las virtudes y defectos de los distintos tipos de abono. Sólo se muestran conformes en rechazar el estiércol de aves acuáticas (demasiado húmedo) así como el de cerdo (demasiado cálido): únicamente un agrónomo cristiano anónimo afirma que el estiércol de cerdo puede aplicarse a los almendros de frutas amargas. Ibn Baṣṣāl, por ejemplo, realiza una clasificación detallada de los abonos animales, de acuerdo con su grado de calor y humedad, en la que llama la atención el que omita toda mención del ganado bovino, sin que esto tenga explicación[162]. Estos abonos nunca se aplican frescos sino que se dejan pudrir de uno a cinco años, entre otras razones para protegerse de los parásitos que suelen acudir al abono fresco.

Si se desea utilizar un abono básicamente seco, sin humedad alguna, se recurre a las *cenizas de los baños*, en los que el estiércol animal se utilizaba como combustible. Estas cenizas se mezclan asimismo con abonos tiernos para lograr un compuesto con el grado de calor y humedad adecuado. Los tratados andalusíes elaboran recetas complejísimas de *abonos compuestos*, de acuerdo con las necesidades de la tierra y del cultivo, que hacen pensar, una vez más, en el origen médico-farmacológico de toda esta teoría agronómica. Ibn al-ᶜAwwām describe, por ejemplo, un abono *standard*, útil para todo, constituido por la mezcla de diversas pajas quemadas, estiércol de distintos animales, materia vegetal sin quemar, agua de lluvia etc.

162 Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* pp. 22 y 55-60.

4.5.4.6 *Agronomía y superstición.*

Lo expuesto hasta aquí nos presenta una teoría agronómica básicamente racional, con apoyos muy sólidos en la práctica agrícola y un espíritu experimental que insiste en la necesidad de analizar los distintos tipos de tierras y de recurrir al laboreo, regadío y abono. No obstante, aparece, esporádicamente, un elemento supersticioso que nace de una doble tradición en este sentido: la clásica[163] y la oriental correspondiente a la *Agricultura Nabatea*[164]. Sorprende, de este modo, el constatar que, si bien las nociones que exponen nuestros tratados al hablar de irrigación están, en general, exentos de connotaciones supersticiosas, se insiste en que debe siempre regarse cuando la luna está bajo tierra. En ciertos casos, los autores exponen procedimientos que rozan la superstición tomándolos de sus fuentes clásicas pero hacen gala de un cierto espíritu crítico: es el caso del mito de la *bugonia* expuesto, por ejemplo, por el seudo-Ibn Wāfid a partir, según parece, de un texto de Anatolio de Berito. Se trata de un viejo mito clásico en el que se describen cuidadosamente las operaciones a realizar para degollar un ternero, dejar su cuerpo en una habitación durante un largo período de tiempo, para terminar encontrando los huesos del ternero y la habitación llena de abejas. En este caso el seudo-Ibn Wāfid se limitará a transcribir, más o menos fielmente, el contenido de su fuente aunque añadirá, con escepticismo, «no sé la validez que pueda tener esto»[165].

En otras ocasiones, la superstición es más aparente que real: los tratados de agronomía suelen llevar una especie de calendario que establece una periodificación de las faenas agrícolas y da nociones de los momentos del año en que cabe esperar lluvias y sequías en función de los ocasos acrónicos de determinadas estrellas. Este tipo de materiales está enlazado con el sistema tradicional de los *anwā'* al que ya me he referido al hablar del *Calendario de Córdoba* (cf. § 2.4.3) y tiene muy poco de astrológico limitándose a referirse a la sincronía existente entre determinados fenómenos astronómicos y

163 Bolens, *Agronomes andalous* pp. 208-210 (señala coincidencias entre los agrónomos andalusíes y la obra de Paladio).

164 Bolens, *Agronomes andalous* pp. 211-212.

165 J. Martínez Gázquez, «Fuentes clásicas del mito de la "bugonia" en Ibn Wāfid y su posible traducción alfonsí», *Faventia* 2 (1980), 35-52.

otros meteorológicos de carácter cíclico. Son supersticiosos, en cambio, los pronósticos que se realizan, por ejemplo, en función de haber oido truenos al principio de un mes determinado.

Magia y superstición juegan un papel, por ejemplo, en Ibn Baṣṣāl y, en mayor grado, en el seudo-Ibn Wāfid: cierto tipo de actividades (plantación, injertos, construcción de los cimientos de una casa, siembra) han de realizarse con la luna en creciente[166]: curiosamente, tal vez por *lapsus* del manuscrito, el seudo-Ibn Wāfid recomienda que los ajos se siembren y transplanten con luna en menguante[167]. Este tipo de creencias, por otra parte, ejerce un papel primordial en todo lo que atañe a la protección del agricultor contra los parásitos, enfermedades de las plantas y catástrofes naturales. Así vemos que Ibn Baṣṣāl reacciona de este modo para lograr que una fuente dé más agua[168] y para tratar las enfermedades del árbol del alfónci-go[169] o del fruto del naranjo[170]. Mucho más espectaculares, a este respecto, son las recetas del seudo-Ibn Wāfid. Recordemos aquí que los tratados de agronomía suelen incluir un apartado de zootecnia y veterinaria[171] en el que no se ocupan sólo del ganado y de los animales domésticos sino también de los animales dañinos (lobos, jabalíes, ratones, culebras, alacranes, pulgas, hormigas, chinches, moscas, mosquitos etc.). Dentro de este apartado el seudo-Ibn Wāfid recomienda, para proteger la tierra contra los animales depredadores, hacer la siembra con la piel de un lobo en la que se hayan hecho treinta agujeros del grosor de un dedo. Para librarse de las tempestades hay que mojar la simiente con agua que haya estado treinta días junto con los pedazos de un cuerno de ciervo o de marfil. Un macabro espantapájaros constituido por un ave crucificada protege contra las aves rapaces. Una buena defensa contra las tempestades se obtiene también si una virgen casadera, desnuda e «en cabellos» y

166 Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* p. 124; Millás, «La traducción castellana de ...Ibn Wāfid» pp. 303-304, 308, 309-310, 315-316.

167 Millás, «La traducción castellana de...Ibn Wāfid» p. 319.

168 Bolens, *Agronomes andalous* p. 161.

169 Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* p. 102.

170 Millás-Aziman, *Ibn Baṣṣāl* p. 99.

171 C. Alvarez de Morales, «La Zootecnia en los textos agrícolas árabes», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 81-91.

con un gallo en las manos se pasea en torno a las mieses. Si, con este atuendo, se echa sobre la tierra evitará el pedrisco[172]. Los ejemplos de esta índole podrían multiplicarse[173].

4.6 CONCLUSIONES.

L. Bolens considera que la «regionalización» a la que dio lugar el estallido del Califato en una multitud de reinos de taifas motivó la aparición de gobiernos locales que resultaron más aptos para producir un desarrollo económico así como menos opresores desde un punto de vista fiscal, todo lo cual dio lugar a lo que considera una auténtica «revolución agrícola»[174] que sería el sustrato de la escuela agronómica andalusí. Sea o no cierta esta hipótesis, parece claro que la etapa taifa promueve una labor de investigación importante en el campo de las ciencias «aplicadas» y cabría preguntarse hasta qué punto una buena parte de las que consideramos «exactas» no son también, en realidad, «aplicadas»: en el trasfondo de la investigación científica de este período se ve, unas veces, y se adivina, otras, la presencia de un poder benévolo que mira con buenos ojos las tareas de los hombres de ciencia, algo difícil de entender si este poder no espera obtener algún resultado tangible de su patronazgo.

En esta etapa hemos visto, pues, investigación tanto en el terreno de la mecánica aplicada como en la alquimia, farmacología y, sobre todo, en el de la agronomía. El campo en el que los avances resultan menos espectaculares es, sin duda, el de la medicina, algo que llama notablemente la atención tras el brillo de un Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī a finales del Califato. La medicina se ha confundido con la Farmacología y, aquí, ha surgido un cierto esfuerzo de continuidad en relación con la escuela cordobesa del período anterior así como ciertas preocupaciones de índole teórica. Estas preocupaciones han influido en el desarrollo de una escuela agronómica que, partiendo de unos orígenes claramente médicos y farmacológicos, ha intentado elevar la agronomía a nivel científico y desarrollar una teoría que permita dar una base racional a la agricultura. Los agrónomos

172 Millás, «La traducción castellana de...Ibn Wāfid» pp. 307-308.

173 Millás, «La traducción castellana de...Ibn Wāfid» pp. 319 (cap. 83), 324-326 (cap. 88), 326-331 (cap. 89).

174 Bolens, *Agronomes andalous* pp. 6-14.

andalusíes no suelen abandonar esta actitud racional sino ante lo inevitable: la dificultad de hacer frente a los animales depredadores o a las catástrofes naturales motiva el que se recurra a una actitud irracional bien representada, por otra parte, en este período por la *Gāyat al-ḥakīm/ Picatrix*.

Para analizar el desarrollo de estas ciencias aplicadas en el siglo XI nos enfrentamos con un escollo fundamental: la falta de ediciones críticas de los textos. A este respecto algo se ha avanzado, gracias a los esfuerzos de la escuela granadina, en el campo de la agronomía por ejemplo, desde que Millás emprendió su labor de pionero. Queda, no obstante, mucho por hacer e, incluso en el caso de un autor tan privilegiado como Ibn Baṣṣāl, debemos constatar que no se han agotado las posibilidades actuales de la bibliografía manuscrita. Pese a ello, existe un lado positivo en el problema: la labor de Millás careció de continuadores durante muchos años pero la situación ha cambiado de manera espectacular y el tema de la agronomía está ahora en plena efervescencia. Los nombres de Lucie Bolens, Bachir Attié y de los miembros de la joven escuela granadina han aparecido con suficiente frecuencia en las notas a este capítulo como para que resulte forzoso agradecerles la labor realizada y esperar que continúe.

Dejando de lado el llamar la atención sobre las notables esperanzas que ha despertado la aparición del tratado de autómatas de al-Murādī que implica, como hemos visto, la primera documentación de una escuela andalusí de mecánica, señalaré, volviendo a la agronomía, el alto nivel técnico alcanzado por ésta que, según ha señalado L. Bolens, no será superado hasta que se produzca el desarrollo de la Química y, muy en particular, hasta el siglo XIX. La publicación de traducciones castellanas y francesas de obras agronómicas andalusíes a principios y mediados del siglo XIX, en España y en Argelia[175], constituye un indicio claro de hasta qué punto eran valoradas en este momento (cf. § 5.5.4).

[175] Me refiero a la ed. y trad. castellana de Ibn al-ᶜAwwām realizada por J.A. Banqueri (Madrid, 1802); a la trad. francesa de la misma obra de J.J. Clement-Mullet (París, 1864-67) y a los fragmentos de Abū-l-Jayr traducidos para uso de los colonos franceses en Argelia y publicados en 1854. Cf. Abou'l Khayr Ach-Chadjdjar Al-Ishbili, *Kitâb al-Filâh'a ou Le Livre de la Culture*. Notice et Extraits traduits par A. Cherbonneau. Eclaircissements par H. Pérès, Alger, 1946.

CAPITULO 5

EL SIGLO DE LOS FILOSOFOS

(1086-1232)

5.1. GENERALIDADES.

Si lo que, habitualmente, denominamos «siglo XI», pensando en la época taifa, corresponde sólo a un período de unos cincuenta años comprendidos entre la caída del Califato (1031) y la invasión de los almorávides (1086), la etapa que nos ocupa ahora es mucho más larga ya que abarca casi un siglo y medio. Se inicia en el momento en que al-Andalus se convierte en una provincia del Imperio Almorávide, tras el destronamiento del rey ᶜAbd Allāh de Granada (1090) y del rey al-Muᶜtamid de Sevilla (1091). El período almorávide durará hasta la muerte de Tāšufīn b. ᶜAlī (1145) y, tras un brevísimo interregno en el que intenta renacer la antigua estructura de las taifas, se producirá la nueva invasión norteafricana de los almohades los cuales entrarán en la Península en 1145-46 pero no conquistarán Córdoba y Sevilla hasta 1147-48, Badajoz hasta 1150, Granada y Almería hasta 1157 y, por último, la isla de Mallorca hasta 1203. Esta etapa durará, aproximadamente, hasta 1232, momento en el que nacerá la dinastía nazarí que presidirá la última fase de la ciencia andalusí.

Con el avance castellano que ha culminado con la conquista de Toledo en 1085 por Alfonso VI, los centros de actividades científicas

se desplazan hacia el sur[1]: en este capítulo me ocuparé (cf. *infra* § 5.5.3.1) del misterioso caso del oftalmólogo Sulaymān b. Ḥārit̲ al-Qūṭī (?) que ejerce en Toledo hasta 1159 y se traslada a Sevilla el año siguiente atraido por el mecenazgo de los almohades. Esto se acentúa, evidentemente, por el hecho de que, bajo almorávides y almohades se ha producido una unión política entre al-Andalus y el Magrib y los centros de poder se encuentran, evidentemente, más allá del Estrecho de Gibraltar. Los científicos, especialmente los médicos, se ponen al servicio de los nuevos dominadores y se dirigen, con frecuencia, al Norte de Africa: Abū-l-ᶜAlā' ibn Zuhr (m. 1130), tras haber ejercido la medicina con al-Muᶜtamid de Sevilla, se pondrá a las órdenes de Yūsuf b. Tāšufīn, tal vez como visir, y su hijo Abū Marwān ibn Zuhr (c. 1092-1161) -- el Avenzoar de las traducciones latinas -- le acompañará a Marrākuš entre 1120 y 1140 y, con la llegada de los almohades, entrará al servicio del primer Califa ᶜAbd al-Mu'min (1130-1163). Por su parte Ibn Ṭufayl (m. 1185) llegó a ser médico de cámara y visir del califa Abū Yaᶜqūb Yūsuf entre 1163 y 1182 fecha en que cedió su puesto de médico a Ibn Rušd (1126-1198) -- a quien había presentado al califa almohade en 1169 --, aunque conservó hasta su muerte su categoría de visir. Aunque los datos son menos abundantes, algo similar debió suceder sin duda con científicos que cultivaron disciplinas distintas de la medicina, como por ejemplo la astronomía: uno de los escasísimos datos de que disponemos acerca de ᶜAbd al-Ḥaqq al-Gāfiqī al-Išbīlī, conocido por Ibn al-Hā'im, es que escribió en 1204-05 su *Al-zīŷ al-kāmil fī-l-taᶜālīm* y lo dedicó al califa almohade Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad al-Nāṣir (1199-1213)[2]. Los ejemplos anteriores van más allá de lo anecdótico ya que suponen el inicio de un proceso histórico importante que tendrá lugar en esta etapa y en la siguiente: la emigración de científicos y eruditos andalusíes al Norte de Africa --unas veces empujados por las conquistas cristianas y otras por las nuevas oportunidades profesionales que se les ofrecen -- que tendrá como consecuencia el desarrollo de escuelas científicas en el Magrib que son herederas de la tradición andalusí: un ejemplo muy claro lo constituyen

[1] Aunque no haya que descartar el interés de centros culturales situados en la región levantina como, por ejemplo, Tortosa en la primera mitad del siglo XII: cf. J. Vernet, «Ambiente cultural de la Tortosa del siglo XII». AR1I2, 461-470.

[2] Este *zīŷ*, del que me ocuparé más adelante, está totalmente virgen de estudio. Se conserva en el manuscrito de la Bodleian Library (Oxford) II,2 ms. 285 (Marsh 618).

las doctrinas astronómicas de Azarquiel que serán desarrolladas por astrónomos norteafricanos como Ibn Isḥāq al-Tūnisī (principios del s. XIII) e Ibn al-Bannā' al-Marrākušī (1256-1321). Estas relaciones incidieron, sin duda, en otros terrenos como el de la agronomía: he mencionado ya (§ 4.5.4.3) la teoría de Colin según el cual sería un andalusí el ingeniero (*muhandis*) ᶜAbd (o ᶜUbayd) Allāh ibn Yūnus que introdujo en Marrākuš la técnica de los *qanāts* en tiempo del soberano almorávide ᶜAlī ibn Yūsuf ibn Tāšufīn (1107-1143). Por otra parte, la emigración al Norte de Africa no se redujo al caso de los eruditos y hombres de ciencia sino que afectó a multitud de campesinos que se veían forzados a abandonar sus tierras ante los avances cristianos los cuales fueron, sin duda, los introductores de técnicas agrícolas y de captación de aguas que se habían desarrollado en al-Andalus en los siglos anteriores. Son enormemente significativas, a este respecto, las palabras del geógrafo e historiador granadino Ibn Gālib (fl. 1170):

> Cuando se cumplió la irrevocable decisión de Dios, la mayor parte de la gente de al-Andalus emigró de sus tierras y se desparramaron por las comarcas del Magrib y de Ifrīqiya. Los campesinos prefirieron los campos a los que ya estaban habituados y se relacionaron y asociaron con los indígenas: alumbraron aguas, plantaron árboles, renovaron molinos harineros movidos por agua y otras cosas. Les enseñaron técnicas nuevas que nunca habían aprendido ni habían visto. Gracias a ellos prosperaron las comarcas, mejoraron sus asuntos, aumentaron sus cosechas y se extendieron por todas partes sus beneficios y bienes, pues los andalusíes, como ya he dicho, se parecen a los griegos, porque éstos estuvieron en al-Andalus y heredaron de ellos sus experiencias[3].

[3] Citado por J. Vallvé, «La emigración andalusí al Magreb en el siglo XIII (despoblación y repoblación en al-Andalus)», *Relaciones de la Península Ibérica con el Magreb (siglos XIII-XVI). Actas del Coloquio (Madrid 17-18 diciembre 1987)* editadas por M. García Arenal y M.J. Viguera, Madrid, 1988, pp. 87-129 (el pasaje

El desarrollo de relaciones culturales y científicas cada vez más amplias con el Norte de Africa viene acompañado también por una progresiva disminución de los contactos con el Oriente Islámico: no en vano uno de los pocos científicos orientales de primera fila cuya introducción culmina, en esta época, en al-Andalus es Ibn Sīnā (980-1037): su gran obra *al-Qānūn fī-l-Ṭibb* influirá poderosamente, a veces de forma negativa, en la obra de los médicos andalusíes de este período, y su *Urŷūza fī-l-ṭibb* será comentada por Ibn Rušd. Si bien todavía algunos hombres de ciencia emprenderán el viaje (*riḥla*) a Oriente para completar su formación, pronto se prescinde de él a medida que los andalusíes ganan confianza en la madurez de su propia cultura y personajes de primerísima fila como Ibn Rušd no lo llevan a cabo. El caso de los Banū Zuhr, una gran familia de médicos, resulta significativo: el abuelo ᶜAbd al-Malik (m. c. 1078) estudia en El Cairo pero no parece que ni su hijo Abū-l-ᶜAlā' (m. 1130) ni su nieto Abū Marwān (m. 1161) hayan cursado estudios fuera de al-Andalus. Consecuencia de ello es que la ciencia andalusí se encuentre cada vez más desconectada de la oriental y adquiera características propias que desarrollan las que ya se apuntaban en la etapa anterior. Todo ello no quiere decir, en modo alguno, que no haya hombres de ciencia que viajen a Oriente pero lo cierto es que estos viajes no son, frecuentemente, de ida y vuelta sino que los andalusíes que emprenden la *riḥla* muchas veces no regresan. Este hecho se debe, en ocasiones, a la intolerancia religiosa e intelectual de que hacen gala, a veces, los conquistadores norteafricanos: bajo los almorávides los alfaquíes adquirirán un enorme poder lo que no favorecerá, precisamente, el desarrollo de la ciencia; bajo los almohades -- auténticos protectores de científicos y filósofos en la mejor tradición de los siglos X y XI -- se rompe la tradición de la convivencia pacífica entre musulmanes, cristianos y judíos que -- con excepciones -- había predominado durante los siglos anteriores. En esta etapa los judíos se ven forzados a elegir entre convertirse al Islam o emigrar y esto explica la partida del gran filósofo, médico y astrónomo Mūsà b. Maymūn (Maimónides) que vivió en Egipto desde 1166 hasta su muerte en 1204 y fue, sin duda, uno de los grandes difusores de la ciencia andalusí en Oriente. Otros casos resultan mucho más problemáticos y desconocemos cuál fue exactamente la causa de la emigración: es el caso del polígrafo Abū-l-Ṣalt Umayya

de Ibn Gālib aparece citado en las pp. 102-103).

de Denia (c. 1067-1134) cuya desgraciada estancia en Egipto (1095-1112) le hizo escribir comentarios desdeñosos acerca de los conocimientos de los astrónomos y los médicos egipcios[4], manifestando, una vez más, el tradicional complejo de inferioridad de los andalusíes frente a los orientales. Tampoco están claras las causas de la emigración hacia Oriente del infatigable viajero Abū Ḥāmid de Granada (1080-1169) y cabe dentro de lo posible que hubiera huido de la intransigencia de los almorávides, aunque desconocemos con exactitud la fecha de su salida de al-Andalus: lo único claro es que, en 1117-18, se encontraba en Alejandría en donde describió su famoso Faro[5], así como también en El Cairo en donde visitó las pirámides[6]. Los viajes de Abū Ḥāmid no le llevaron solo hacia Oriente sino también a Rusia, Bulgaria y Hungría y la descripción que hace de estos países tiene un indudable interés etnográfico[7]. Por otra parte si en una de sus obras, la *Tuḥfat al-albāb*[8] la geografía se mezcla con la descripción fantástica, dentro del género de los *ᶜaŷā'ib* («maravillas»), y estos materiales se encuentran también presentes en *al-Muᶜrib ᶜan baᶜḍ ᶜaŷā'ib al-Magrib* («El que explica con claridad algunas de las maravillas del Magrib»)[9], esta última obra tiene el enorme interés para nosotros de contener un número de datos notable en lo que

[4] A.L. de Prémare, «Un Andalou en Egypte à la fin du XI^{e} siècle: Abū-l-Ṣalt de Denia et son Epître Egyptienne», *Mélanges de l'Institut Dominicain d'Etudes Orientales* 8 (1964-66), 179-208.

[5] A. Ramos, *Abū Ḥāmid al-Garnāṭī (m. 565/1169). Tuḥfat al-albāb (El regalo de los espíritus)*, Madrid, 1990 pp. 47-49. Sobre otra descripción del Faro de Alejandría hecha por el malagueño Ibn al-Šayj también en el siglo XII cf. M. Asín Palacios, «Una descripción nueva del Faro de Alejandría», *Al-Andalus* 1 (1933), 241-300.

[6] A. Ramos, *Tuḥfat al-albāb* pp. 50-52 y 123-125; J. Vernet, «Un egiptólogo español del siglo XII», ARII2, 471-474.

[7] C.E. Dubler, *Abū Ḥāmid el Granadino y su Relación de Viaje por Tierras Eurasiáticas*, Madrid, 1953.

[8] Hay edición de G. Ferrand (París, 1925) y traducción castellana reciente de A. Ramos ya citada.

[9] La parte final de este texto fue editada, traducida y estudiada por Dubler en el libro citado. Cf. J. Vernet, «Un manuscrito interesante de la Real Academia de la Historia», ARII2, 373-376. Acaba de aparecer una edición y traducción de la obra completa por I. Bejarano, *Abū Ḥāmid al-Garnāṭī (m. 565/1169), Al-Muᶜrib ᶜan baᶜḍ ᶜaŷā'ib al-Magrib (Elogio de algunas maravillas del Magrib)*, Madrid, 1991.

respecta al *mīqāt* (astronomía religiosa) de tradición popular que, desgraciadamente, no es andalusí sino oriental.

Maimónides, Abū-l-Ṣalt, y Abū Ḥāmid no son más que tres ejemplos de eruditos andalusíes del siglo XII que viajaron por Oriente y no regresaron a al-Andalus. La lista correspondiente a este siglo y al siguiente podría alargarse casi indefinidamente[10] pero basta con constatar el hecho de que los andalusíes de este siglo pueden codearse con los eruditos y hombres de ciencia orientales y trabajar sin problema en las ciudades del Mašriq. Al-Andalus ha dejado de importar maestros orientales y se está permitiendo el lujo de exportar estos mismos maestros. Que esto suceda precisamente en un período en el que se está iniciando la decadencia no resulta más que una contradicción aparente. Se trata de una etapa en la que el cultivo de la matemática, que había surgido de manera floreciente en el siglo anterior, parece abandonarse: esta afirmación, no obstante, puede tener que matizarse en el futuro a la vista de las posibles aportaciones de Ŷābir b. Aflaḥ (cf. *infra* § 5.2.2 y 5.2.4), de Ibn Bāŷŷa (cf. § 3.2) y de Maimónides. Conservamos unas notas, aún inéditas, de este último autor a ciertas proposiciones de las *Cónicas* de Apolonio que revelan, por su parte, una cierta competencia como matemático aunque no parezcan contener aportaciones originales[11]. En lo que respecta a la astronomía veremos que, por una parte, la tradición zarqālí es cultivada por epígonos como Ibn al-Kammād, Ibn al-Hā'im y por el mismo Abū-l-Ṣalt de Denia. Por otra parte se lleva también a cabo una crítica a la astronomía matemática de Ptolomeo bien sea desde el punto de vista de la ortodoxia ptolemaica (Ŷābir b. Aflaḥ) bien dentro de un conato de carácter marcadamente filosófico de concebir un universo real que esté de acuerdo con una Física que, más que aristotélica, es neoplatónica (al-Biṭrūŷī). El cultivo de esta Física por parte de un pensador de la categoría de Ibn Bāŷŷa (Avempace) constituye uno de los rasgos más sobresalientes de este período. Finalmente, en lo que respecta a Botánica y Medicina veremos que la labor investigadora iniciada en el siglo X continúa todavía pero empieza ya a apuntar la tendencia erudita a la redacción de grandes síntesis en las que se recogen, fundamentalmente, los materiales heredados del pasado. En resumen, un período con aportacio-

[10] Cf. por ejemplo Vallvé, «Emigración andalusí» (cit.) pp. 116 y ss.

[11] J.P. Hogendijk, *Ibn al-Haytham's* Completion of the Conics, Nueva York, Berlín, Heidelberg, Tokio, 1985, pp. 123-124 y *passim*.

nes que no son desdeñables pero que no puede compararse con el esplendor de la etapa taifa ni con el desarrollo que, en el mismo, tiene la Filosofía que, sin duda, es la disciplina reina en este momento[12].

5.2 LA ASTRONOMIA MATEMA'TICA Y LA HERENCIA DE AZARQUIEL.

5.2.1 INSTRUMENTAL ASTRONOMICO: TRATADOS SOBRE EL ASTROLABIO Y EL ECUATORIO.

Durante el período almorávide y almohade veremos desarrollarse trabajos astronómicos que no hacen más que continuar la tradición precedente representada por las escuelas de Maslama y de Azarquiel. En lo que respecta a la primera debemos señalar que se escriben dos tratados sobre el uso del astrolabio debidos a Abū-l-Ṣalt de Denia y a Ibn al-Naṭṭāḥ. En lo que respecta al tratado de Abū-l-Ṣalt, debió escribirse en circunstancias dramáticas: en el año 503/ 1109-10, encontrándose en la cárcel por haber fracasado en su intento de sacar a flote, utilizando cuerdas de seda y poleas, un barco cargado de cobre que había naufragado en el puerto de Alejandría[13]. Este tratado se encuentra aún inédito pero las catas que, sobre él, hizo

[12] Para una caracterización general de la cultura andalusí en la etapa almorávide y almohade cf. el reciente libro de D. Urvoy, *Pensers d'al-Andalus. La vie intellectuelle à Cordoue et à Seville au temps des Empires Berbères (fin XI^e siècle - début XIII^e siècle)*, Paris, 1990.

[13] La anécdota del barco la refiere Ibn Abī Uṣaybi'a en *'Uyūn al-anbā' fī ṭabaqāt al-aṭibbā'* (ed. Beirut, 1957) III, 86-87. D. King (*A Survey of the Scientific Manuscripts of the Egyptian National Library*, Winona Lake, Indiana, 1986, p. 50 § B89) encontró, en un ms. de la Biblioteca Nacional de El Cairo, una referencia a que este tratado fue redactado por Abū-l-Ṣalt cuando se encontraba en la cárcel. Este dato aparece confirmado por el manuscrito Leiden 468 (fols. 179 v° y 180 r°) que contiene un tratado de *mīqāt* (*Kanz al-yawāqīt*) escrito por un anónimo *muwaqqit* cairota del siglo XIV muy interesado por la astronomía andalusí, el cual, por otra parte menciona la fecha de redacción de la obra: este autor tenía ante sí una copia del tratado de Abū-l-Ṣalt en la que debían aparecer estos datos ya que cita, a continuación, un pasaje del prólogo de nuestro texto.

Millás[14] muestran que se trata de un texto extenso (69 capítulos en el manuscrito de Berlín aunque, por ejemplo, el de la Biblioteca Ambrosiana de Milán consta de 90 capítulos) en el que su autor se preocupa con un cierto detalle de cuestiones trigonométricas y, dentro de ellas, trata de temas que no son habituales en los tratados de astrolabio andalusíes como las funciones seno y seno verso. Abū-l-Ṣalt puede, por otra parte, haber sido el introductor en Oriente del calendario zodiacal, diagrama característico del dorso de los astrolabios andalusíes y norteafricanos hasta época relativamente tardía (cf. § 1.4). En efecto, al plantearse el problema de la determinación de la longitud del sol para un día determinado — operación previa a cualquier uso del astrolabio — empieza por utilizar una tabla, tomada probablemente de unas efemérides o de un almanaque, que establece la posición del sol en cada día del año copto pero añade, a continuación, una descripción del calendario zodiacal para un año juliano de 365 días y cuarto. Mucho menos interés tiene el tratado de astrolabio de Ibn al-Naṭṭāḥ, autor andalusí cuya cronología no está clara ya que se basa exclusivamente en el hecho de que cita y critica (cayendo en un claro hipercriticismo) el tratado de astrolabio de Ibn al-Ṣaffār (m. 1031) y menciona Córdoba como ciudad que se encuentra todavía en manos de los musulmanes lo que implica que el tratado es anterior a 1236, fecha de la conquista de Córdoba por los cristianos. La lectura de este texto[15] resulta claramente decepcionante: su autor no parece ser un astrónomo muy competente y su deseo de originalidad le lleva a extremos absurdos como el de reproducir el alfabeto árabe indicando el valor numérico que tiene cada una de sus letras. Pese a lo anterior, el tratado de Ibn al-Naṭṭāḥ tiene el interés de proporcionarnos datos nuevos sobre la orientación de la alquibla en las mezquitas andalusíes (cf. *supra* § 2.4.1).

Dentro de la tradición de Ibn al-Samḥ (§ 2.5.2.4) y Azarquiel (§ 3.3.3.4), el mismo Abū-l-Ṣalt de Denia escribirá un tratado sobre el ecuatorio, el tercero de la serie de ecuatorios andalusíes, a través del cual este instrumento puede, tal vez, haber sido introducido en Oriente. Este tratado es conocido gracias a un sólo manuscrito perdido del que se conserva un microfilm y que, en el momento en que fue microfilmado, se encontraba en un estado lamentable. Pese a

[14] J. Millàs Vallicrosa, *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval*, Barcelona, 1931, pp. 77-80.

[15] Utilizo una edición y traducción de D. Cinca en curso de publicación.

ello, la edición que ha llevado a cabo Mercè Comes[16] ha conseguido restaurar más del noventa y cinco por ciento del texto. Tal como sugiere Kennedy, el instrumento descrito probablemente no se construyó jamás: los detalles que proporciona el texto son, a veces, excesivamente vagos. En las raras ocasiones en las que se citan parámetros, estos son ptolemaicos. Ciertos rasgos del instrumento revelan originalidad: es el primero en representar, en su ecuatorio, el círculo ecuante además del deferente de cada planeta, frente al procedimiento utilizado por Ibn al-Samḥ y Azarquiel que, como hemos visto, utilizan un sistema de dos círculos concéntricos uno de los cuales está graduado a partir del centro del ecuante. Por otra parte materializa también el centro del ecuante y el de la lámina: del centro de la lámina partirán dos hilos, uno de los cuales engarzará con una clavija situada en el centro del ecuante y permitirá determinar la posición del centro del epiciclo sobre el deferente; el segundo suplirá la alidada de Ibn al-Samḥ y de Azarquiel y, tras pasar por la graduación correspondiente a la anomalía del planeta en el epiciclo, nos permitirá leer la longitud verdadera correspondiente en el limbo del instrumento. En cambio, en otras ocasiones se muestra seguidor de Azarquiel: parece claro que, en su instrumento, la curva descrita por el deferente de Mercurio no es un círculo aunque el texto conservado no describe la manera de trazarla. También a la zaga del ecuatorio de Azarquiel, y al revés de lo que sucede con el de Ibn al-Samḥ, una única lámina grabada por las dos caras lleva toda la maquinaria planetaria de deferentes y ecuantes y sobre ella se superpondrá -- como en los dos casos anteriores -- la lámina de los epiciclos. Ahora bien, tiene el mayor interés subrayar (cf. Fig. 36) que la disposición de todos los planetas y el Sol en una misma cara (con la excepción de la Luna la cual, dada la complejidad del modelo, ocupa la segunda cara de la lámina) se produce siguiendo estrictamente el orden ptolemaico y de modo que el círculo más exterior de Saturno sea tangente al círculo que representa la eclíptica; a continuación el círculo más exterior de Júpiter será tangente a un círculo auxiliar que, a su vez, es tangente al ecuante de Saturno y así sucesivamente. Este tipo de disposición nos puede hacer pensar

[16] M. Comes, *Los ecuatorios andalusíes*, Barcelona, 1991, pp. 237-251 y 139-157. Cf. también el estudio previo de E.S. Kennedy, «The Equatorium of Abū al-Ṣalt» en S.I.E.S., 481-489.

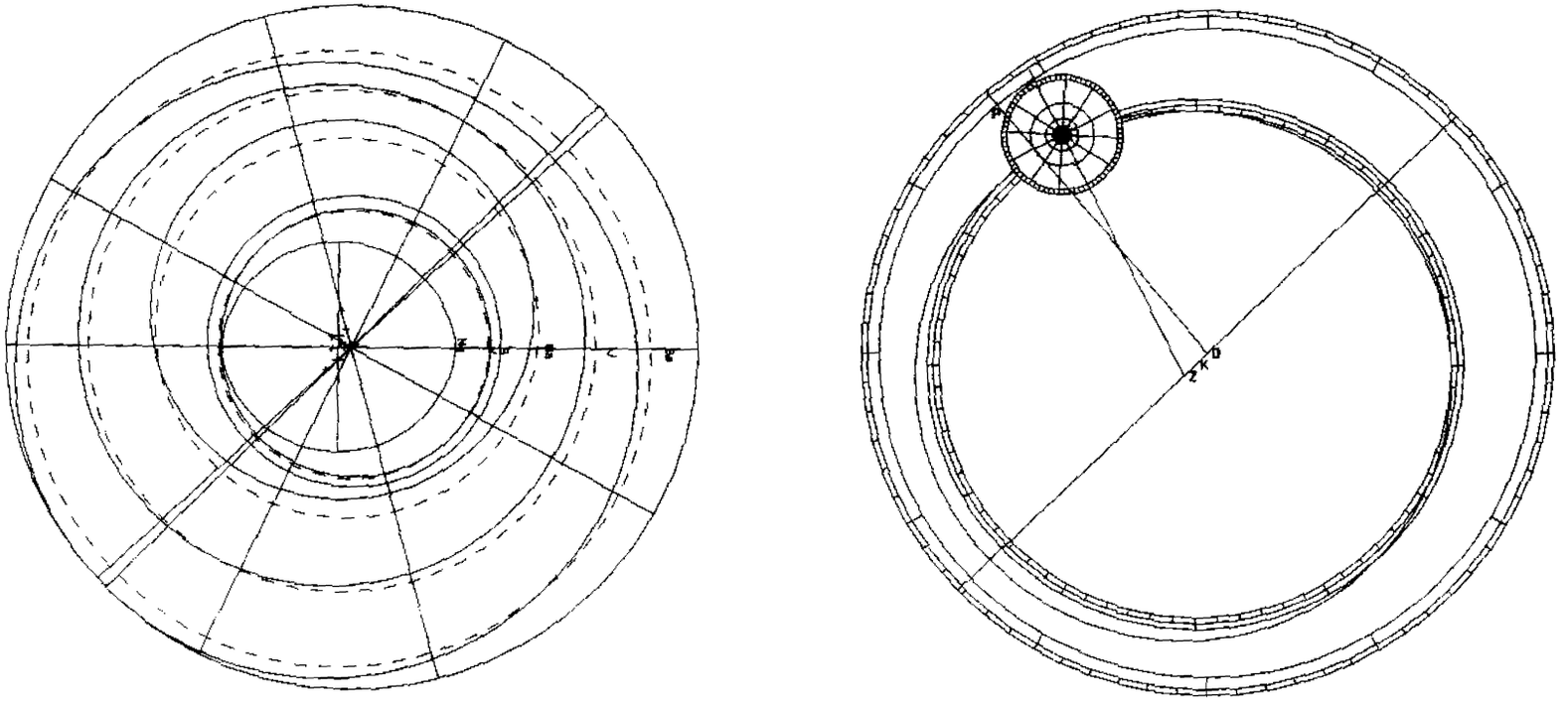


Fig. 36

a) Faz del ecuatorio de Abū-l-Ṣalt, con los deferentes (en trazo discontinuo) y ecuantes (en trazo continuo) de los planetas y la excéntrica solar; b) Uso de los hilos para determinar la longitud verdadera de un planeta: Z = centro del ecuante, K = centro del deferente, D = centro de la Tierra. Dibujos de M. Comes y H. Mielgo.

en la estructura física del cosmos adoptada por Ptolomeo en sus *Hipótesis planetarias* para calcular distancias y tamaños de los planetas[17]: las esferas planetarias aparecen unas dentro de otras, a la manera de una muñeca rusa, de manera similar a la que tenemos en el ecuatorio de Abū-l-Ṣalt, por más que el sistema de tangencias descrito no sea el mismo. Es decir que, al revés de lo que sucede con la disposición de los círculos del ecuatorio de Azarquiel, podemos, tal vez, encontrarnos aquí con un conato de representar un cosmos físico en la línea de las *Hipótesis* o del *Kitāb fī hay'at al-ᶜālam* de Ibn al-Haytam[18]. Esto enlaza bien con un personaje como Abū-l-Ṣalt cuyas preocupaciones filosóficas son bien patentes: escribió un tratado de Lógica[19] y conservamos de él un tratado sobre seis cuestiones de orden filosófico y cosmológico que evidencia este tipo de intereses y su fidelidad a la filosofía aristotélica[20].

5.2.2 ŶĀBIR B. AFLAḤ Y LA INVENCION DEL «TORQUETUM».

En el campo de los instrumentos astronómicos aparece, en esta etapa una novedad importante: se trata del instrumento descrito en el *Iṣlāḥ al-Maŷisṭī* de Abū Muḥammad Ŷābir b. Aflaḥ, obra de la que me ocuparé más adelante dentro de este mismo apartado (§ 5.2.4). Baste decir, por el momento, que su autor -- sobre el que apenas sabemos nada -- era sevillano (diversas fuentes lo denominan al-Išbīlī) y que debió vivir a mediados del siglo XII[21]. En su obra Ŷābir

[17] B.R. Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypotheses». *Transactions of the American Philosophical Society* N.S. 57,4 (1967).

[18] Hay edición y traducción del texto árabe por Y.T. Langermann, *Ibn al-Haytham's* On the Configuration of the World, Nueva York y Londres, 1990. Edición de las traducciones latinas en J.M. Millás Vallicrosa, *Las traducciones orientales en los manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo*, Madrid, 1942, pp. 285-312, y en J.L. Mancha, «La versión alfonsí del Fī hay'at al-ᶜālam (De configuratione mundi) de Ibn al-Haytam», en O.E.Y.A.F., 133-207.

[19] A. González Palencia, *Rectificación de la mente. Tratado de lógica por Abusalt de Denia. Texto árabe, traducción y estudio previo.* Madrid, 1915.

[20] Millás, *Assaig* pp. 80-81.

[21] Maimónides (1135-1204) (*Guía de Perplejos* II,9) afirma que conoció a su hijo. Sobre Ŷābir cf. R. Lorch, «Jābir ibn Aflaḥ», *D.S.B.* 7 (Nueva York, 1973), 37-39; «The Astronomy of Jābir ibn Aflaḥ», *Centaurus* 19 (1975), 85-107.

señala que Ptolomeo para realizar una serie de observaciones utilizó cuatro instrumentos, a saber[22]:

- Una armilla meridiana para determinar el arco comprendido entre los dos trópicos.
- Un *triquetrum* para determinar la distancia cenital y la máxima latitud de la Luna.
- Una armilla equinoccial para observar los equinoccios.
- Un *astrolabon* o esfera armilar para determinar la longitud y latitud de una estrella cuando se conocen la longitud y la latitud de la Luna.

Estos cuatro instrumentos, según Ŷābir, requieren 8 armillas[23] y nuestro autor se propone llevar a cabo las mismas observaciones utilizando un único instrumento que constará de una armilla, un cuadrante y una regla. En efecto, el *Iṣlāḥ* describe un instrumento compuesto por una armilla graduada en cuyo centro se eleva un eje sobre el que gira un cuadrante graduado provisto de una alidada de pínulas que pivota en torno al centro del cuadrante. Tres ejes de sujeción permiten que la armilla se monte en el plano meridiano, en el del ecuador y en el de la eclíptica y el texto describe el procedimiento a seguir para llevar a cabo la lista de observaciones antes mencionadas. Este instrumento, al que Ŷābir no da ningún nombre específico, tiene un enorme interés por cuanto se trata del primer instrumento destinado a la observación astronómica cuya descripción aparece en un texto andalusí, si exceptuamos la esfera armilar de Azarquiel (§ 3.3.3.2). Sin duda se trata de un instrumento de dimensiones bastante considerables: el texto del *Iṣlāḥ* nos habla de un diámetro de unos seis palmos y el conjunto se monta en una placa de mármol horizontal sobre la que se ha trazado la meridiana (cuando se desea situar la armilla en el plano meridiano) o bien sobre dos armillas encastradas perpendicularmente a la placa de mármol que permiten el montaje ecuatorial o eclíptico. Por otra parte, Ŷābir parece conocer la existencia de instrumentos aún mayores puesto que habla de armillas de cien palmos de diámetro o más (!) -- algo total-

[22] Para todo lo que sigue sobre el instrumento de Ŷābir cf. R. Lorch, «The Astronomical Instruments of Jābir ibn Aflaḥ and the Torquetum», *Centaurus* 20 (1976), 11-34. Cf. también S. Tekeli, «Nasirüddin, Takiyüddin ve Tycho Brahe'nin Rasat Aletlerinin Mukayesesi». *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi* 16 (1958), 383-389.

[23] Seis para el *astrolabon* (cf. *Almagesto* V,1, trad. Toomer pp. 217-219), más las armillas meridiana y equinoccial.

mente desconocido dentro de la tradición astronómica andalusí -- y se plantea -- sin éxito -- el problema de cómo dividir una armilla de seis palmos de modo que se obtenga con ella la precisión de un instrumento mucho mayor. Evidentemente, lo dicho hasta ahora no corresponde precisamente a un instrumento portátil y lo único que cabe lamentar es que desconozcamos si llegó a construirse y se realizaron observaciones con él.

Se ha señalado, por otra parte, que existe una cierta semejanza entre este instrumento y el *torquetum*, de tradición europea, descrito por primera vez a fines del siglo XIII bien sea por Bernardo de Verdun o por Franco de Polonia (este último en 1284)[24]. El *torquetum* aspira a reunir en un sólo instrumento los tres planos astronómicos básicos -- horizontal, ecuatorial y eclíptico -- a los que se añade el plano vertical y lleva todo el utillaje necesario en materia de regletas, alidadas de pínulas y plomada. En este sentido tiene ciertos puntos de contacto con el instrumento de Ŷābir. Existen, no obstante, diferencias de entre las que basta señalar una como ejemplo: el instrumento andalusí es de montura fija, al revés que el *torquetum*, y no puede adaptarse fácilmente a un cambio de latitud. La razón es obvia: si el *torquetum* es un sucesor del instrumento de Ŷābir, parece claro que se ha producido un cambio total en la concepción del mismo ya que de lo que es, claramente, un instrumento de observación de dimensiones regulares y fijo, hemos pasado a otro que sólo en teoría puede servir para la observación, al permitir una solución mecánica a las lecturas simultáneas de coordenadas en los tres planos astronómicos fundamentales, que es portátil (y, por tanto, debe adaptarse a distintas latitudes) y cuyas aplicaciones básicas son la de servir como instrumento de demostración, y también como instrumento de cálculo, con ciertos usos similares a los del astrolabio[25].

Lorch, por otra parte, ha planteado el problema de la transmisión del instrumento de Ŷābir al mundo europeo. Si bien es cierto que el *Iṣlāḥ al-Maŷisṭī* fue objeto de una traducción latina de Gerardo de Cremona, el instrumento descrito en este último texto difiere sustancialmente del que aparece en el texto árabe ya que, en

[24] E. Poulle, «Bernard de Verdun et le turquet», *Isis* 55 (1964), 200-208.

[25] E. Poulle, *Les instruments astronomiques du Moyen Age*, Paris, 1983, pp. 31-35.

él, el cuadrante giratorio situado en un plano perpendicular al de la armilla ha sido sustituido por un sistema de dos reglas engarzadas a la manera de un *triquetrum* ptolemaico. Sus aplicaciones son las mismas que en la primera versión del instrumento pero su semejanza con el *torquetum* es mucho menor. Lorch ha subrayado que la traducción hebrea del *Iṣlāḥ* hecha por Mošé ben Tibbón en 1274 describe el mismo instrumento que Gerardo de Cremona y que existe una nueva traducción hebrea del *Iṣlāḥ* llevada a cabo por Jacob ben Maḫir ben Tibbón y revisada, en 1335, por Samuel ben Yehudá de Marsella y que sólo este último texto revisado describe los dos instrumentos. Estos datos nos llevan a concluir, en primer lugar, que la segunda versión del instrumento se encontraba en un original árabe sin que sepamos si la corrección se debe a Ŷābir o a otro autor y, en segundo lugar, que si el inventor del *torquetum* se inspiró en el instrumento de Ŷābir, forzosamente debía ser capaz de leer el árabe ya que la versión hebrea revisada en 1335 es posterior a las dos primeras descripciones del *torquetum*. Lo anterior apuntaría, en el caso de confirmarse la influencia de Ŷābir, a Bernardo de Verdún como inventor del *torquetum* ya que existen motivos para creer que sabía árabe: como hemos visto ya (§ 3.3.4) disponía de información de primera mano acerca del modelo solar de Azarquiel cuya obra sobre el tema no parece haber sido objeto de traducción alguna.

5.2.3 TABLAS ASTRONOMICAS: IBN AL-KAMMĀD E IBN AL-HĀ'IM.

He mencionado ya a Ibn al-Kammād en § 3.3.4 como continuador de la obra de Azarquiel al menos en lo que respecta a su modelo solar. Nada sabemos sobre este personaje y su cronología ha sido muy discutida pero parece sensata la opinión emitida recientemente por Richter-Bernburg[26]: Abū Ŷa^{c}far Aḥmad b. Yūsuf [b.] al-Kammād sería un discípulo directo de Azarquiel con el que, tal vez, trabajó en Córdoba. Escribió tres tablas astronómicas denominadas *al-Kawr ^{c}alà-l-dawr*, *al-Amad ^{c}alà-l-abad* y *al-Muqtabis* de las cuales sólo conocemos, con un cierto detalle, la última (un resumen de las dos anteriores) gracias a una traducción latina realizada por Juan de

[26] L. Richter-Bernburg, «Ṣā^{c}id, the Toledan Tables *and Andalusī Science*», *From Deferent to Equant* pp. 383 y 396 (n. 59).

Dumpno en Palermo en 1262, conservada en el manuscrito 10023 de la Biblioteca Nacional de Madrid, en el que aparecen también pasajes del *al-Kawr ᶜalà-l-dawr*[27]. 1262 constituye, pues, un límite cronológico pero existen otros: el manuscrito latino antes citado menciona repetidamente a Azarquiel y, en una ocasión a Ibn Muᶜāḏ (m. 1093; § 3.2 y § 3.3.2.2). Asimismo (fol. 65 v.) aparece mencionada la fecha 480/1088 por más que no es seguro que sea atribuible al propio Ibn al-Kammād en lugar de a una de sus fuentes. A lo anterior hay que añadir que una nota marginal en un manuscrito latino de las *Tablas de Toledo* considera a nuestro autor como discípulo de Azarquiel[28].

Las tablas de Ibn al-Kammād se encuentran, prácticamente, vírgenes de todo estudio y, en el momento en que éste se lleve a cabo, conviene señalar que, además de la traducción latina del *Muqtabis*, existe un número reducido de fuentes árabes que nos conservan información acerca de las mismas: Vernet descubrió la versión árabe del capítulo del *Muqtabis* sobre la proyección de rayos en un manuscrito de Argel[29] así como el texto árabe -- también traducido al latín por Juan de Dumpno -- de un curioso texto astrológico en el que Ibn al-Kammād se plantea el problema de la duración del embarazo humano y cálculo del momento de la concepción. Se conservan, por otra parte, materiales tabulares de la misma procedencia en la tradición astronómica norteafricana y egipcia, sobre todo en el *zīŷ* de Ibn Isḥāq al-Tūnisī, en el *Ŷāmiᶜ al-mabādiʾ wa-l-gāyāt fī ᶜilm al-mīqāt* de Abū ᶜAlī al-Ḥasan al-Marrākušī[30], ambos del siglo XIII y en el *Kanz al-yawāqīt*, un tratado de *mīqāt* escrito por un *muwaqqit* egipcio anónimo del s. XIV al que me he referido repetidamente. Una fuente excepcional para el estudio de la obra

[27] Millás, *Traducciones orientales* pp. 231-247.

[28] Millás, *Estudios sobre Azarquiel*, Madrid-Granada, 1943-50, p. 14; G.J. Toomer, «The Solar Theory of az-Zarqāl: a History of Errors», *Centaurus* 14 (1969), 314-315.

[29] J. Vernet, «Un tractat d'obstetrícia astrològica» en E.H.C.M. pp. 273-300 (cf. pp. 74-78).

[30] Se ha publicado un facsímil del manuscrito Istambul Ahmet III 3343 de esta obra por el Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, Frankfurt, 1984, 2 vols; J.J. Sédillot y L.A. Sédillot, *Traité des instruments astronomiques des Arabes*. París, 1834 (reimpresión Frankfurt, 1984); L.A. Sédillot, *Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*. París, 1844 (reimpresión Frankfurt, 1989).

tabular de Ibn al-Kammād está constituida, por otra parte, por el *al-Zīŷ al-kāmil fī-l-taᶜālīm* de Abū Muḥammad ᶜAbd al-Ḥaqq al-Gāfiqī al-Išbīlī del que tampoco sabemos nada aunque, en este caso su cronología parece segura ya que, como hemos visto (§ 5.1) afirma que compuso su obra a principios del siglo VII de la Hégira (601/1204-1205) y la dedicó al califa almohade Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad al-Nāṣir (1199-1213). Se trata, pues, probablemente de un sevillano que debió trabajar en Marruecos al servicio del califa.

Tanto las obras de Ibn al-Kammād como la de Ibn al-Hā'im representan claramente la supervivencia de la tradición zarqālí en el siglo XII pero el segundo autor parece mucho más fiel a las doctrinas del maestro toledano que el discípulo directo del mismo. Hemos visto ya (§ 3.3.4) que Ibn al-Kammād llevó a cabo correcciones de los parámetros solares de Azarquiel e Ibn al-Hā'im es muy crítico con sus tres *zīŷes* antes citados y, en particular, con *al-Amad ᶜalà-l-abad* («Válido para toda la eternidad») ya que considera que la validez de su *al-Zīŷ al-kāmil* no se extiende más allá de unos cuarenta años. De hecho la mayor parte del largo prólogo de su obra se compone de una veintena de críticas a Ibn al-Kammād y a un autor anónimo de entre los contemporáneos de Ibn al-Hā'im que escribió un *al-Zīŷ al-muntajab* sobre el que no sabemos nada. Para dar un ejemplo, critica el que Ibn al-Kammād haya abandonado la ortodoxia zarqālí en lo relativo a la teoría de la trepidación: hemos visto (§ 3.3.6.3.4) que el modelo de trepidación adoptado definitivamente por Azarquiel independiza el movimiento de acceso y receso (producido por el giro de la cabeza de Aries móvil sobre un pequeño epiciclo ecuatorial) de la variación de la oblicuidad de la eclíptica (causada por el giro del polo de la eclíptica en un epiciclo cuyo centro se encuentra en un deferente polar de radio 23;43°). En este modelo zarqālí no puede, por tanto, calcularse directamente el valor de la precesión mediante una tabla de ecuaciones similar a la que aparece en el *Liber de motu* e Ibn al-Kammād comete el grave pecado, a los ojos de Ibn al-Hā'im, de introducir una tabla de esta índole lo cual implica que -- si la tabla debe tener una validez atemporal -- Ibn al-Kammād (según Ibn al-Hā'im) considera que los períodos de revolución de la cabeza de Aries móvil y del polo de la eclíptica son idénticos, lo que no era cierto para Azarquiel. En efecto, si examinamos la traducción latina del *Muqtabis* encontraremos en ella una tabla (fol. 28v) que regula el movimiento medio de la cabeza de Aries con obvios puntos de contacto (idéntico valor de partida para

la fecha *radix* correspondiente al principio de la Hégira) con la correspondiente tabla de Azarquiel pero con una ligera corrección del parámetro básico. Tenemos, asimismo, una tabla de la ecuación (fol. 35v), calculada para un máximo de 9;59°, que responde a la descripción de Ibn al-Hā'im. De hecho, Ibn al-Kammād ha sacrificado aquí la precisión en aras de lograr una mayor rapidez en el cálculo y lo mismo hicieron, después de él, otros autores claramente inmersos en la tradición zarqālí como los norteafricanos Ibn Isḥāq e Ibn al-Bannā' (§ 3.3.6.3.4) y el tunecino-andalusí Ibn al-Raqqām (§ 6.3.2.2.3). Existe, no obstante, una diferencia: mientras que, como hemos visto, el máximo valor de la ecuación (10;24°) en las tablas de Ibn Isḥāq e Ibn al-Bannā' deriva directamente de los parámetros y del tercer modelo de Azarquiel, no ocurre lo mismo con los 9;59° de Ibn al-Kammād ya que, si intentamos deducir el valor de la oblicuidad que corresponde al parámetro anterior y al radio zarqālí del epiciclo central (4;7,58P) obtendremos una oblicuidad absurda de 24;33,50°. Si partimos, en cambio, de la oblicuidad documentada en la tabla de Ibn al-Kammād (23;33°), el valor del radio del epiciclo ecuatorial será de 3;58,19°, relativamente próximo a los 3;54P del primer modelo de Azarquiel. Hay que concluir, por tanto, que Ibn al-Kammād no sólo ha introducido cambios en los parámetros sino que es posible que no esté utilizando el mismo modelo que Azarquiel[31]. En cualquier caso este autor nos proporciona nuevos materiales para la historia de la teoría de la trepidación en al-Andalus y es curioso señalar que Ibn al-Kammād considera que esta teoría remonta a los babilonios a los que identifica con los *magistri ymaginum* (talismanistas)[32]: con ello incurre en el tópico, que aparece también en otros autores orientales, de identificar a los babilonios con los «antiguos astrólogos» a los que Teón de Alejandría atribuye la teoría de la trepidación[33]. Terminemos señalando que estas tablas de trepidación de Ibn al-Kammād conocieron un cierto éxito ya que fueron

[31] Existe, no obstante, una alternativa que me señala M. Castells: a un radio de 4P le corresponderá una oblicuidad de 23;43°, precisamente el valor medio de la oblicuidad en el tercer modelo de Azarquiel.

[32] Millás, *Traducciones orientales* p. 231.

[33] O. Neugebauer, «The Alleged Babylonian Discovery of the Precession of the Equinoxes», *Astronomy and History. Selected Essays*, Nueva York, Berlín, Heidelberg, Tokio, 1983, p. 253.

recogidas en las *Tablas de Barcelona* que hizo calcular Pedro el Ceremonioso en el siglo XIV[34].

El *Muqtabis* de Ibn al-Kammād es un *zīŷ* convencional, calculado para las coordenadas de Córdoba en la inmensa mayoría de sus tablas, aunque en dos de ellas aparece la mención de la ciudad de Salé, junto a Rabat. Completamente distinto es el *al-Zīŷ al-kāmil fī-l-taᶜālīm* de Ibn al-Hā'im, del que conservamos un texto bastante largo (173 págs.) que contiene los cánones de unas tablas astronómicas y que carece de tablas numéricas. Una lectura rápida del texto me ha mostrado que estas tablas numéricas (si es que existieron) no eran, tal vez, excesivamente importantes en relación con el conjunto de la obra: los cánones contienen referencias a las tablas pero insisten, sobre todo, en los procedimientos de cálculo acompañados por cuidadosas demostraciones geométricas que muestran que su autor es un buen matemático que conoce la nueva trigonometría introducida en al-Andalus por Ibn Muᶜāḏ y difundida por Ŷābir b. Aflaḥ (§ 3.2). La estructura general de la obra es la siguiente:

- Prólogo en el que aparecen las duras críticas a Ibn al-Kammād (págs. 2-19)[35].
- Libro I, dividido en 16 capítulos (págs. 19-45): sobre problemas cronológicos a los que se añaden dos capítulos sobre cuestiones de geografía astronómica (correcciones a introducir en las cuestiones cronológicas en función de las diferencias de longitud).
- Libro II (11 capítulos, págs. 45-69): teoría de la trepidación, duración del año solar, manera de calcular los movimientos medios del sol y de los planetas utilizando los calendarios musulmán, persa y juliano.
- Libro III (13 capítulos, págs. 69-98): cálculo del valor de la oblicuidad de la eclíptica y de la precesión para una fecha determinada; cálculo de la longitud del sol, de la luna, del nodo ascendente y de los planetas utilizando tablas. Los capítulos siguientes explican la manera de calcular las ecuaciones del centro y de la anomalía con un análisis detallado del modelo geométrico. Los modelos y los parámetros (excentricidades, radios de los epiciclos) son, en general, ptolemaicos con algunas excepciones entre las que se encuentran las

[34] J.M. Millás Vallicrosa, *Las Tablas Astronómicas del rey Don Pedro el Ceremonioso*, Madrid-Barcelona, 1962, pp. 194-195.

[35] El manuscrito Bodleyana II,2 nº 285 (Marsh 618) está foliado y paginado. Daré aquí las referencias a las páginas.

excentricidades de Marte (5;57P; Ptolomeo y ecuatorio de Azarquiel: 6P), Venus (1;2P; Ptolomeo: 1;15P; ecuatorio de Azarquiel: 1;3,27P) y Mercurio (3;6P; Ptolomeo: 3;0P; ecuatorio de Azarquiel: 2;51,26P) y el radio del epiciclo de la Luna (5;10P en lugar de las 5;15P ptolemaicas).

- Libro IV (11 capítulos, págs. 98-129): cálculo de la declinación del Sol y de la latitud de la Luna y de los planetas con explicaciones detalladas de la teoría ptolemaica de la latitud. Estaciones y retrogradaciones de los planetas.

- Libro V (3 capítulos, págs. 129-141): duración del año solar tanto sidéreo como anomalístico.

- Libro VI (17 capítulos, págs. 141-157): cuestiones de astronomía esférica (ascensiones rectas y oblícuas; duración del día; horas iguales y desiguales).

- Libro VII (9 capítulos, págs. 157-172): se caracteriza por una cuidadosa aplicación de la «nueva» trigonometría esférica a problemas relativos a la variación de la oblicuidad, trepidación, latitud de la luna y cálculo de ascensiones rectas. Define y utiliza las funciones cuerda, seno, coseno y seno verso pero no la tangente y la cotangente.

- Explicit (pág. 173).

Este breve resumen del contenido del *al-Zīŷ al-kāmil* puede darnos una idea de su interés. Este tipo de tratado astronómico es totalmente nuevo en la tradición astronómica andalusí y norteafricana y, salvando las diferencias, hace pensar en obras orientales como el *al-Qānūn al-Masᶜūdī* de al-Bīrūnī. En el capítulo 3 he utilizado ya ciertos datos del *al-Zīŷ al-kāmil* para reconstruir algunos aspectos de la obra de Azarquiel en lo relativo a la teoría de la trepidación y a los modelos solar y lunar. Es en estos apartados en los que Ibn al-Hā'im se aparta de la ortodoxia ptolemaica para seguir a Azarquiel por más que no lo haga de manera servil. Así, por ejemplo, cambia a veces los parámetros zarqālíes como sucede en su tratamiento de la trepidación: su período de revolución del polo de la eclíptica es de 2032 años persas y 29 días en lugar de los 1850 años julianos de Azarquiel. No creo que se trate de un error ya que afirma que ha obtenido mejores concordancias con las determinaciones históricas de la oblicuidad. Sus modificaciones no cambian en nada su condición de fiel discípulo de Azarquiel: tal como afirma en otro pasaje de su *zīŷ* (pág. 62) las modificaciones de parámetros no

constituyen cuestiones de orden teórico (ᶜ*ilmī*) sino práctico (ᶜ*amalī*).

5.2.4 LAS CRITICAS A LA ASTRONOMIA PTOLEMAICA: EL *IṢLĀḤ AL-MAŶISṬĪ* DE ŶĀBIR B. AFLAḤ.

He mencionado ya en § 5.2.2 los escasísimos datos de que disponemos acerca de este autor cuya obra fue introducida en Egipto por Maimónides el cual, en colaboración con su discípulo Yosef ben Yehudá ben Šamᶜūn, llevó a cabo una revisión de la misma. A lo largo del siglo XIII se difundió por Oriente: un manuscrito de esta obra conservado en Berlín fue copiado en Damasco en 1229 y el gran astrónomo y físico persa Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī (1236-1311) hizo un resumen de la misma. Su difusión europea fue notable gracias a la traducción latina de Gerardo de Cremona y a las versiones hebreas que he mencionado en § 5.2.2 y tuvo un notable interés en cuanto divulgó una parte de los teoremas trigonométricos formulados, algo más de medio siglo antes, por Ibn Muᶜāḏ (§ 3.2). Conviene recordar que estos teoremas son (cf. Fig. 37)[36]:

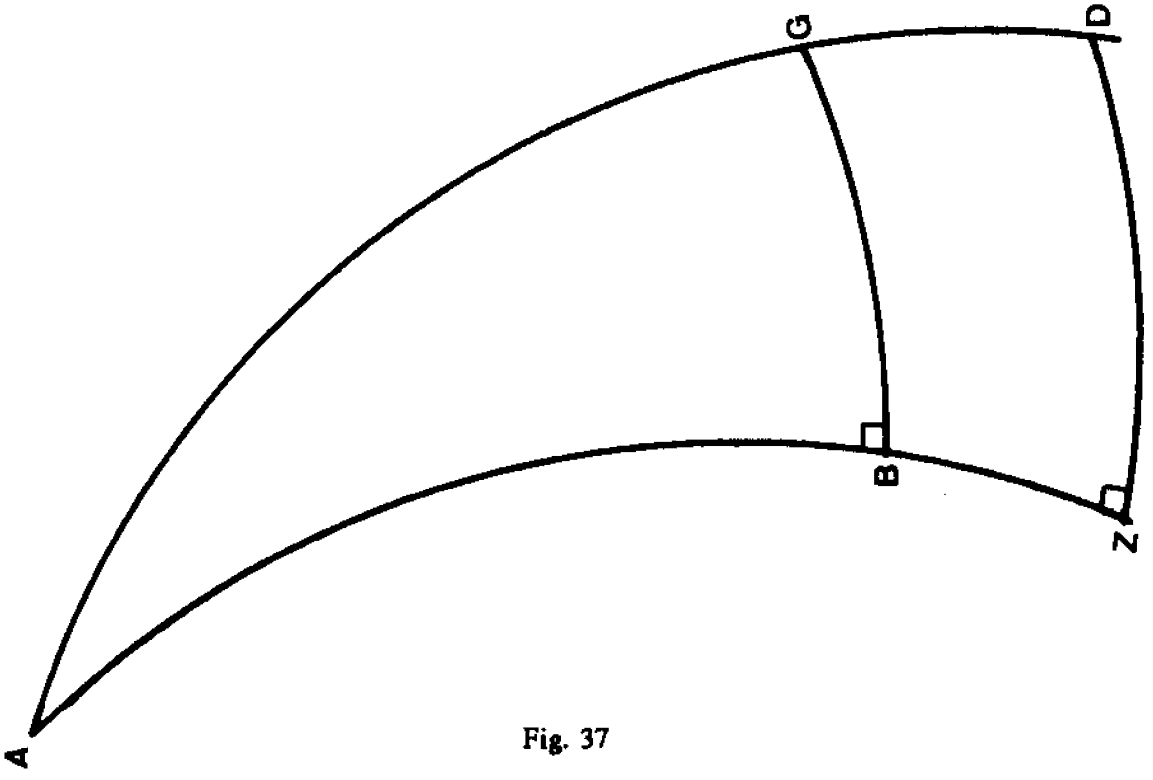


Fig. 37

[36] R.P. Lorch, «Jābir ibn Aflaḥ», *D.S.B.* 7 (Nueva York, 1973), 37-39.

1. *Regla de las cuatro cantidades*: sen AG/ sen GB = sen AD/ sen DZ
2. *Teorema del seno*: sen A/sen a = sen B/sen b = sen G/sen g
3. *Teorema de Geber (= Ŷābir)*: sen A/ sen B = cos G/ cos g
4. *Teorema del coseno*: cos b/ cos a = cos g/ sen B

Estos teoremas de Ŷābir aparecen utilizados por vez primera, en un contexto no islámico, por los astrónomos de Alfonso X en el *Libro del cuadrante sennero*[37] y el *Iṣlāḥ* es, probablemente, la fuente básica del *De triangulis* de Regiomontano (c. 1460), lo que constituye sólo uno de los múltiples ejemplos de la influencia de Ŷābir en la astronomía del Renacimiento.

Pese al enorme interés del *Iṣlāḥ*, esta obra no ha sido todavía objeto de edición ni traducción moderna alguna, por lo que nuestro conocimiento de la misma es forzosamente parcial[38]. Si el instrumento diseñado por Ŷābir (cf.§ 5.2.2) estaba claramente destinado a la observación, en el *Iṣlāḥ*, en cambio, no parece haber referencia a observación alguna y ni siquiera contiene tablas numéricas. Se trata de una obra de carácter marcadamente teórico, dividida en nueve libros en los que su autor emprende una crítica, a veces muy dura, del *Almagesto* ptolemaico desde el punto de vista de un astrónomo matemático. Una de sus críticas más célebres y que mayores ecos tuvieron en la tradición astronómica posterior afecta a la posición de Venus y Mercurio situados por Ptolomeo entre la Luna y el Sol. Esta situación implica, por parte de Ptolomeo el que éste se vea obligado a justificar la falta de tránsitos de los dos planetas inferiores por delante del disco solar y el astrónomo griego argumenta que nunca se encuentran en la línea que une nuestros ojos con el Sol (*Almagesto* IX,1). Ŷābir demuestra, laboriosamente, que la argumentación de Ptolomeo no es válida y que el sistema astronómico descrito en el

[37] E. Ausejo, «Trigonometría y astronomía en el Tratado del Cuadrante Sennero (c. 1280)». *Dynamis* 4 (1984), 7-22.

[38] R. Lorch, «The Astronomy of Jābir ibn Aflaḥ», *Centaurus* 19 (1975), 85-107; N.M. Swerdlow, «Jābir ibn Aflaḥ's Interesting Method for Finding the Eccentricities and Direction of the Apsidal Line of a Superior Planet», *From Deferent to Equant* pp. 501-512; H. Hugonnard Roche, «La théorie astronomique selon Jabir ibn Aflah», *History of Oriental Astronomy (IAU Colloquium 91)*, Cambridge, 1987, pp. 207-208.

Almagesto fuerza necesariamente tránsitos de Mercurio y Venus y critica, por otra parte, el que Ptolomeo afirme que estos dos planetas carecen de paralaje sensible: si el Sol tiene paralaje, ¿cómo no lo van a tener Mercurio y Venus que se encuentran más próximos a la Tierra que el Sol?. De todo esto Ŷābir concluye la necesidad de establecer un nuevo orden planetario en el que Mercurio y Venus se encontrarían por encima del Sol.

El carácter marcadamente teórico del *Iṣlāḥ* queda patente si consideramos una segunda crítica a Ptolomeo que ha sido objeto de un análisis detallado por parte de H. Hugonnard-Roche y N. Swerdlow, partiendo del original árabe y de la traducción latina de la obra de Ŷābir, respectivamente. Uno de los aspectos básicos de los modelos planetarios ptolemaicos es la bisección de la excentricidad, o sea el hecho de que la distancia entre el centro de la Tierra y el centro del deferente sea igual a la distancia entre el centro del deferente y el centro del ecuante, encontrándose los tres puntos sobre la misma línea recta (*línea de los ápsides*). En el caso de los planetas superiores, Ptolomeo no demuestra de manera alguna su bisección de la excentricidad[39] sino que la asume como una especie de postulado y esto constituye, para Ŷābir, una falta metodológica importante. Por otra parte, la existencia de un punto ecuante — en torno al cual se mueve uniformemente el centro del epiciclo planetario — complica extraordinariamente el procedimiento a seguir para derivar los parámetros del modelo (excentricidad y dirección de la línea de los ápsides). Ptolomeo parte de las observaciones de tres oposiciones entre el planeta y el Sol medio ya que, en las oposiciones, el planeta se encontrará en el perigeo de su epiciclo y estará, por tanto, en la línea recta que une el centro de la Tierra con el centro del epiciclo planetario. A partir de aquí Ptolomeo realiza un cálculo iterativo en el que empieza por asumir (nuevo error metodológico para Ŷābir) que el centro del ecuante y el del deferente son un mismo punto. El procedimiento de cálculo utilizado por Ptolomeo es correcto pero largo y engorroso y nadie parece haber propuesto una alternativa antes de Ŷābir el cual desarrolla un método nuevo que será recogido, sin mencionar fuente, por Regiomontano en su *Epitome* al *Almagesto*. En lugar de utilizar, como Ptolomeo, tres oposiciones, Ŷābir requiere disponer de observaciones de dos pares de oposiciones entre el planeta y el Sol medio, de manera que un par se sitúe a un lado de la

[39] O. Pedersen, *A Survey of the Almagest*, Odense, 1974, 277-279 y 306-307.

línea de los ápsides y el segundo par al otro lado de la misma y cumpliendo la condición de que los intervalos de tiempo entre los miembros de cada par sean idénticos. Dadas estas condiciones, determinar la dirección de la línea de los ápsides resulta muy simple y Ŷābir expone el procedimiento matemático para derivar la doble excentricidad así como la distancia entre el centro del deferente y el centro del ecuante. De esta forma, nuestro autor no se ve obligado a asumir el postulado de la bisección de la excentricidad que tanto había reprochado a Ptolomeo. La exposición de Ŷābir revela, por su parte, una clara habilidad matemática y un escaso sentido práctico, ya que disponer de dos pares de observaciones que reúnan las condiciones que requiere para la aplicación de su método resulta muy difícil de conseguir en un plazo de tiempo lo suficientemente breve como para que no se haya alterado la posición del apogeo planetario ya que, en el caso de que éste se haya desplazado de manera sensible, el procedimiento resultará entonces totalmente inválido.

Lo que podemos intuir a partir de los escasos pasajes del *Iṣlāḥ* que han sido estudiados convenientemente muestra con toda claridad su importancia y nos hace desear vivamente el poder disponer de un texto editado de esta obra. Juntamente con la obra de la escuela aristotélica andalusí del siglo XII, Ŷābir es el representante del nacimiento de las críticas al *Almagesto* en el Occidente Islámico que acabarán dando lugar al Renacimiento Científico. Su aproximación al tema, no obstante, es totalmente original y distinta de la que adoptarán los filósofos aristotélicos -- de los que me voy a ocupar enseguida -- así como la escuela de Marāga en Oriente en el siglo XIII: esta última censurará los modelos geométricos ptolemaicos en cuanto violan ciertos principios básicos como el de que todos los movimientos deben ser circulares y uniformes en torno a sus propios centros y no -- como en el caso del ecuante -- en torno a puntos distintos a sus propios centros[40]. No son éstas, en modo alguno, las preocupa-

[40] Véanse los estados de la cuestión de J. Vernet, *Astrología y astronomía en el Renacimiento. La revolución copernicana*, Barcelona, 1974, pp. 61-69; E.S. Kennedy, «Planetary Theory: Late Islamic and Renaissance», *Awrāq* 5-6 (1982-83), 19-24; N.M. Swerdlow y O. Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, Nueva York-Berlín-Heidelberg-Tokio, 1984, pp. 41-48; G. Saliba, «The Astronomical Tradition of Maragha: A Historical Survey and Prospects for Future Research», *Arabic Sciences and Philosophy* 1 (1991), 67-99.

ciones de Ŷābir b. Aflaḥ el cual se muestra, ante todo, como un matemático escrupuloso que infravalora el *Almagesto* y que — tal como señala Hugonnard-Roche — considera que debe mejorarse su base matemática, la única que sigue teniendo valor en esta obra ya que, como consecuencia de las modificaciones de parámetros que han llevado a cabo los astrónomos árabes[41], carece totalmente de capacidad predictiva.

5.3 FILOSOFIA, FISICA Y ASTRONOMIA.

5.3.1 GENERALIDADES: LOS CONOCIMIENTOS ASTRONOMICOS DE LOS PROTAGONISTAS.

Pese a lo expuesto hasta aquí, el período histórico que estoy considerando ha llamado mucho más la atención, en lo que respecta a la astronomía, por la aparición de una escuela aristotélica que por los desarrollos propios de la astronomía matemática. Este hecho se debe no sólo a la falta de estudios serios sobre los escritos de los autores considerados *supra* en § 5.2, sino sobre todo a la evidente atracción que los historiadores han sentido por pensadores de la talla de Ibn Bāŷŷa (¿1070?-1138), Ibn Ṭufayl (antes de 1110-1185), Ibn Rušd (1126-1198), Maimónides (1135-1204) y al-Biṭrūŷī (fl. 1185-1192). Se trata de un conjunto de personajes cuya actividad se desarrolla a lo largo de todo el siglo XII y con los que, en buena parte, puede estructurarse un árbol genealógico de maestros y discípulos: Ibn Ṭufayl será discípulo de Ibn Bāŷŷa, a través de los escritos de este último, y se convertirá, a su vez, en el maestro de Ibn Rušd y de al-Biṭrūŷī. Sólo Maimónides se quedará algo desplazado dentro de la escuela, por más que sabemos de él que estudió astronomía con un discípulo de Ibn Bāŷŷa y que — al margen del mundo de los filósofos — mantuvo contactos con un hijo de Ŷābir ibn Aflaḥ.

Los conocimientos astronómicos, propiamente dichos, de esta serie de pensadores son muy variables. Es indudable que Ibn Bāŷŷa no sólo fue el único físico digno de este nombre en al-Andalus sino

[41] De hecho no sólo de los parámetros: piénsese en las correcciones a los modelos del Sol, Luna y estrellas fijas (trepidación) realizadas por Azarquiel y su escuela.

también un matemático competente: fue discípulo de Ibn Sayyid[42] y vivió en Zaragoza bajo al-Musta^{c}īn II (1085-1110) poco después de la muerte del rey Yūsuf al-Mu'taman (1081-85), uno de los matemáticos más importantes que produjo la España Musulmana (cf § 3.2). Por otra parte, al-Maqqarī[43] nos refiere una curiosa anécdota en la que Ibn Bāŷŷa se muestra capaz de calcular un eclipse de luna (*kāna qad ^{c}arafa waqt kusūf al-badr bi-ṣinā^{c}at al-ta^{c}dīl*). Todo ello apunta a que este autor era competente como astrónomo[44], al igual que también lo era Maimónides[45]. Más difícil resulta evaluar los conocimientos de Averroes en la materia y habrá que esperar, para juzgarlos, a la publicación de su resúmen del *Almagesto*, conservado en traducción hebrea. Nada sabemos, al respecto, en lo que se refiere a Ibn Ṭufayl y, con respecto a al-Biṭrūŷī, el máximo exponente del aristotelismo astronómico andalusí del siglo XII, parece obvio que sus conocimientos astronómicos eran bastante limitados. Había leido, probablemente, el *Almagesto* pero su comprensión del mismo adolecía, a veces, de errores. Es posible que al-Biṭrūŷī conociera también el *Comentario al Almagesto* de Teón de Alejandría ya que varias ideas características de su sistema astronómico aparecen asimismo, como

[42] A. Djebbar, *Deux mathématiciens peu connus de l'Espagne du XI^{e} siècle: al-Mu'taman et Ibn Sayyid*. Trabajo ciclostilado editado por la Université Paris-Sud, Département de Mathématique, París, 1984; A. Djebbar, «Las matemáticas en al-Andalus a través de las actividades de tres sabios del siglo XI», L.C.A., pp. 29-34.

[43] Maqqarī, *Nafḥ* VII, 25.

[44] Coincide también con su propio testimonio en una carta dirigida a su amigo Abū Ŷa^{c}far Yūsuf ibn Ḥasdāy (cf. *supra* 3.2) en la que manifiesta que se dedicó intensamente al estudio de la Astronomía (*ṣinā^{c}at al-hay'a*) una vez hubo concluido con el de la Música, por más que aún no domina la teoría de las latitudes planetarias que constituye la parte más difícil de esta ciencia (una observación rigurosamente cierta en lo que respecta a la astronomía ptolemaica): cf. Ŷ.D. al-^{c}Alawī, *Rasā'il falsafiyya li-Abī Bakr ibn Bāŷŷa*, Beirut-Casablanca, 1983, p. 78.

[45] Su obra astronómica básica, en la que se plantea con absoluta competencia el problema de la visión de la luna nueva, se escribió en hebreo dentro de un contexto religioso judío. Por ello la excluyo aquí. Cf., no obstante, S. GANDZ, J. Obermann y O. Neugebauer, *The code of Maimonides. Book Three, Treatise Eight. Sanctification of the New Moon*, New Haven - Londres, 1967 (= 1956); O. Neugebauer, «The Astronomy of Maimonides and its Sources», *Astronomy and History. Selected Essays*, Nueva York-Berlín-Heidelberg-Tokio, 1983, pp. 381-423; M. Kellner, «On the status of the astronomy and physics in Maimonides' *Mishneh Torah* and *Guide of the Perplexed*: a chapter in the history of science», *British Journal of History of Science* 24 (1991), 453-463.

veremos, en la obra del autor alejandrino[46]. Parece claro, por otra parte, que había leido la obra de Azarquiel sobre el movimiento de las estrellas fijas (§ 3.3.6.3) ya que la cita con el título de *Maqāla fī ḥarakat al-iqbāl wa-l-idbār* («Sobre el movimiento del acceso y del receso»)[47] y es muy probable que el tercer modelo zarqālí de trepidación fuera su fuente de inspiración para sus modelos planetarios[48]. Cita también, por último, el *Iṣlāḥ al-Maŷisṭī* de Ŷābir b. Aflaḥ y utiliza, de manera competente, dos teoremas de la «nueva trigonometría» dada a conocer por Ŷābir[49].

Al-Biṭrūŷī parece, pues, desconocer casi todas las aportaciones de la astronomía árabe y la lista segura de sus lecturas astronómicas resulta notoriamente insuficiente para un autor que pretende construir un sistema astronómico que esté de acuerdo con la *Física* de Aristóteles. No obstante, es significativo el interés que muestra por las críticas de Ŷābir a los modelos ptolemaicos y es posible que la obra de este autor hubiese atraido la atención de otros pensadores de esta escuela. En efecto Ŷābir plantea, como hemos visto, el problema del orden de los planetas y sitúa a Mercurio y Venus por encima del Sol; al-Biṭrūŷī, por su parte, propone el orden Luna-Mercurio - Sol - Venus. El tema intriga a Ibn Rušd el cual, en su resumen (*ŷāmiᶜ*) de la *Metafísica* demuestra conocer el orden ptolemaico (Luna - Mercurio - Venus - Sol) y el de Ŷābir[50] y, por más que en este texto no toma partido de forma clara, parece que tanto él como Ibn Bāŷŷa eran partidarios del orden ptolemaico ya que Ibn Rušd llama la atención sobre una observación llevada a cabo por un sobrino de Ibn Muᶜāḏ el cual pudo ver - tal vez el 15.5.1068 (?)- dos manchas sobre el disco solar que Ibn Rušd interpretó como tránsitos de Mercurio y Venus tras haber comprobado, con unas tablas, que ambos planetas se hallaban en conjunción con el Sol.

[46] F.J. Carmody, *Al-Biṭrûjî. De motibus celorum. Critical edition of the Latin translation of Michael Scott*, Berkeley y Los Angeles, 1952 pp. 24-25, 40, 54.

[47] Citaré, en lo sucesivo, el texto árabe y la traducción inglesa de B.R. Goldstein, *Al-Biṭrûjî: On the Principles of Astronomy*, 2 vols, New Haven y Londres, 1971 (I, 69, 80, 91 y II, 93-95, 143, 179); Carmody pp. 85, 94-95, 102.

[48] B.R. Goldstein, «On the Theory of Trepidation according to Thābit b. Qurra and al-Zarqālīuh and its Implications for Homocentric Planetary Theory», *Centaurus* 10 (1964), 232-247.

[49] Goldstein I, 98 y 122; II, 207-209 y 309. Carmody pp. 107-108 y 126.

[50] Ibn Rušd, *Mā baᶜd al-ṭabīᶜa*, ed. Hyderabad, 1365 H., pp. 157-159.

Igualmente Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī (m. 1311) refiere que Ibn Bāŷŷa constató también la presencia de dos manchas sobre el disco solar al amanecer de un día desde el tejado de su casa y que, tras los oportunos cálculos, concluyó que se trataba de Mercurio y Venus. En ambos casos vemos a los dos filósofos manejando unas tablas astronómicas pero, dado que, en el período de tiempo considerado, no se produjeron tránsitos simultáneos de Mercurio y Venus y que no hubo ningún tránsito de este último planeta entre 1040 y 1153, debe concluirse que manejaban tablas erróneas o - lo que es más probable- que no tuvieron en cuenta la latitud de los dos planetas inferiores[51]. En ambos casos es posible que se tratara de observaciones de manchas solares[52]. Conviene señalar, aquí, que esta interpretación de nuestros dos autores implica una postura crítica tanto frente a Ŷābir como frente a Ptolomeo el cual, como hemos visto, negaba que los tránsitos fueran posibles, doctrina que fue criticada por al-Biṭrūŷī que sigue a Ŷābir en este aspecto. Al-Biṭrūŷī, por último, justifica la falta de tránsitos por el hecho de que en su opinión Mercurio (al igual que Venus) tiene luz propia ya que su luminosidad es siempre la misma tanto si se encuentra cerca como si está lejos del Sol.[53]

5.3.2 DOS APROXIMACIONES A LA PROBLEMATICA ASTRONOMICA: ASTRONOMIA MATEMATICA Y ASTRONOMIA FISICA.

No es, no obstante, en este terreno donde encontraremos las aportaciones más interesantes de esta escuela aristotélica andalusí. Los pensadores de los que me estoy ocupando abordan la problemática astronómica con mentalidad muy distinta a la de los astrónomos matemáticos como Azarquiel. Tal como señala Ibn Rušd los mismos

[51] B.R. Goldstein, «Some Medieval Reports of Venus and Mercury Transits», *Theory and Observation in Ancient and Medieval Astronomy*, «Variorum Reprints», Londres, 1985, nº XV. La hipótesis de Goldstein se confirma, al menos en lo que respecta a Ibn Bāŷŷa, si tenemos en cuenta su propia confesión (al-ᶜAlawī, *Rasā'il* p. 78) de que no dominaba la teoría ptolemaica de las latitudes planetarias.

[52] G. Sarton, «Early observations of the sun-spots?», *Isis* 37 (1947), 69-71; A. Sayili, *The Observatory in Islam and its Place in the General History of the Observatory*, Ankara, 1960, pp. 184-185.

[53] Goldstein I, 125 y II, 319.

fenómenos tienen explicaciones muy distintas en la mentalidad de un filósofo natural y en la de un matemático. Si se preguntase a dos científicos pertenecientes a estas dos tendencias por qué la esfera celeste es esférica, el filósofo natural contestaría que porque no es ligera ni pesada o porque su materia es el fuego. La respuesta del matemático sería, en cambio, que el cielo es esférico porque todos los radios que salen de su centro para llegar a su superficie son iguales o porque tiene polos fijos[54]. Ptolomeo es, para al-Biṭrūŷī, el prototipo de astrónomo matemático capaz de crear modelos imaginarios, muy eficaces dada su capacidad predictiva, pero totalmente irreales[55]. Se trata de afrontar el problema tal como lo abordaron algunos de los predecesores de Ptolomeo (¿Eudoxo?) que intuyeron un sistema astronómico que se ajustara a la realidad física.

La actitud de nuestros filósofos es radicalmente innovadora dentro del contexto andalusí y casi no tiene precedentes fuera de los posibles conatos de dar realidad física a los modelos planetarios ptolemaicos, representados -- en la obra del astrónomo griego -- por las *Hipótesis Planetarias*. Recordemos, a este respecto, el caso de Qāsim b. Muṭarrif b. al-Qaṭṭān, a mediados del siglo X, cuyo *Kitāb fī-l-hay'a* incluye capítulos sobre las distancias y tamaños de los planetas (§ 2.5.1) lo que hace pensar en un conocimiento, por lo menos, indirecto de la obra, antes citada, de Ptolomeo. Hemos visto también que el cadí Ṣāᶜid atribuye tanto a los miembros de la escuela de Maslama (§ 2.5.2.1) como al propio Azarquiel y a otros contemporáneos suyos (§ 3.3.7) conocimientos profundos no sólo en el campo del movimiento de los astros (*ḥarakāt al-nuŷūm*) sino también en el de la «ciencia de la estructura [física] de las esferas» (*ᶜilm hay'at al-aflāk*), lo que resulta contradictorio con el resto de nuestros conocimientos sobre el tipo de astronomía que se cultivaba en al-Andalus en los siglos X y XI. Algo más clara resulta la situación cuando llegamos a la primera mitad del siglo XII en la que, en un contexto ptolemaico, encontramos el tratado del ecuatorio de Abū-Ṣalt Umayya ibn Abī-l-Ṣalt (1067-1134) en el que tanto la terminología como la disposición de todos los planetas -- con la excepción de la Luna -- en la misma cara de la lámina y cuidadosamente ordena-

[54] J. Puig (ed.), Ibn Rušd, *Kitāb al-simāᶜ al-ṭabīᶜī*, Madrid, 1983, pp. 23-24; J. Puig, *Averroes. Epítome de Física (Filosofía de la Naturaleza)*. Traducción y estudio por..., Madrid, 1987, pp. 121-122.

[55] Cf. p. ej. Goldstein I, 59; II, 37. Carmody p. 76.

dos hace pensar, aunque con muchísimas dudas, en un intento de representar la estructura física del cosmos. Este tipo de cosmología está presente más tarde, sin duda, en la obra de Averroes: Sabra[56] ha demostrado que conocía las *Hipótesis planetarias* a través de una cita de esta obra que aparece en su resumen (*taljīṣ*) de la *Metafísica* de Aristóteles, escrito, en 1174, pero podemos avanzar un poco esta cronología ya que la misma cita aparece también en su *ŷāmi*ᶜ del *De coelo et mundo*[57], escrito en 1159. A este mismo tipo de temática alude también al-Biṭrūŷī cuando afirma que Ptolomeo «conocía las dimensiones de la magnitud del cosmos y de sus esferas en relación al tamaño de la Tierra, así como las relaciones entre las magnitudes de unas esferas y otras»[58]. Por otra parte debe tenerse en cuenta, también, la posible difusión de la obra cosmológica del gran físico oriental Ibn al-Hayṯam (945- c. 1040), uno de cuyos libros - las *Šukūk ᶜalà Baṭlamyūs* («Dudas sobre Ptolomeo») -- aparece citado por Ibn Bāŷŷa[59].

Dentro del apartado de la astronomía física de tradición ptolemaica podemos considerar también el *Kitāb al-madd wa-l-ŷazr* («Libro del flujo y del reflujo»), posiblemente el tratado más sistemático sobre las mareas escrito antes del siglo XVI. Se trata de una obra atribuida al geógrafo Ibn al-Zayyāt al-Tadilī (m. 1230)[60] que se conserva en un manuscrito fechado en 1192. Su autor es un andalusí (menciona los efectos de las mareas en el «río de Sevilla») que ha visitado Egipto llegando, probablemente, hasta Asuán. Se trata de un personaje con claros conocimientos geográficos que limita el fenómeno de las mareas al gran Oceano que rodea todas las tierras habi-

56 A.I. Sabra, «The Andalusian Revolt against Ptolemaic Astronomy. Averroes and al-Biṭrūjī», *Transformation and Tradition in the Sciences* ed. por E. Mendelsohn, Cambridge, Mass., 1984, pp. 133-153.

57 Ibn Rušd, *Al-samā' wa-l-ᶜālam*, ed. Hyderabad, 1365 H., pp. 59-61.

58 Goldstein I, 59 y II, 39; Carmody p. 77.

59 ᶜAlawī, *Rasā'il* p. 78.

60 Cf. la edición de L. Martínez en «El "Kitāb al-madd wa-l-ŷazr" de Ibn al-Zayyāt», T.E.A.E.S.XIII, 111-173. Traducción y estudio de la misma autora en «Teorías sobre las mareas según un manuscrito árabe del siglo XII», *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona. Seminario de Historia de la Ciencia* 13 (1971-75), 135-212. Sobre la obra geográfica de Ibn al-Zayyāt cf. F. Castelló, *El "Ḏikr al-aqālīm" de Isḥāq ibn al-Ḥasan al-Zayyāt (Tratado de Geografía Universal)*, Barcelona, 1989.

tadas (lo cual, en su contexto, implica básicamente el Oceano Atlántico) y se interesa vivamente por la crecida anual del Nilo y del Indo. Atribuye la primera precisamente a la gran marea anual que coincide con el mes de Agosto, mientras que afirma que la crecida del Indo se debe al deshielo que se produce, en las montañas de las que procede el río, al llegar el verano. Sus conocimientos astronómicos resultan, en cambio, mucho más limitados: parte de una concepción física del cosmos ptolemaico y parece conocer las *Hipótesis Planetarias* o algún resumen de esta obra, pero incurre en errores notables como el de atribuir un epiciclo al sol y afirmar que la oblicuidad de la eclíptica es un ángulo de 25°.[61]

El *Kitāb al-madd wa-l-ŷazr* analiza cuidadosamente el fenómeno de las mareas que relaciona con la influencia del Sol, de la Luna y, secundariamente, de los planetas y distingue tres períodos básicos: a) *diurno* con dos fases de pleamar que corresponden a los pasos de la Luna por el meridiano, y de bajamar que coinciden con los momentos en los que la Luna cruza el horizonte oriental u occidental; b) *mensual* con flujos máximos cuando hay conjunción y oposición del Sol y de la Luna, y reflujos máximos en las cuadraturas; y c) *anual* con flujos máximos en los equinoccios y reflujos máximos en los solsticios. El período diurno tiene un interés especial para nosotros ya que, al igual que los filósofos de los que me ocupo *infra* en § 5.3.3 y 5.3.4, afirma que el movimiento universal tiene su origen en el primer motor situado en la novena esfera, que este movimiento se lentifica a medida que se acerca a la Tierra y que el movimiento de la esfera de la Luna se transmite a la esfera del aire y a la del agua dando origen al ciclo diario de las mareas. Estas ideas parecen derivar de al-Biṭrūŷī[62] por más que el texto no le mencione explícitamente pero tampoco menciona a Ibn Rušd cuya influencia es patente en más de un aspecto.

[61] L. Martínez, «Mareas» p. 191; «Kitāb al-madd» p. 136. El pasaje no es claro y en él se establece una relación entre el punto de la eclíptica en el que la declinación alcanza su valor máximo (Cáncer 0°) y el punto en el que el Sol se encuentra en su apogeo: mi impresión es que el autor del *Kitāb al-madd* ha confundido ambos conceptos y que ha tomado sus datos de una fuente que establecía el apogeo solar en Géminis 25°. Recuérdese (§ 3.3.4) que Azarquiel estableció, en 1074-75, la longitud del apogeo en Géminis 25;49°.

[62] Goldstein I, 64 y II, 67-69; Carmody p. 81.

5.3.3 LOS PRIMEROS CONATOS DE FORMULAR UN SISTEMA «ASTROFISICO»: IBN BĀŶŶA, IBN ṬUFAYL, IBN RUŠD.

Todo lo anterior se refiere a los intentos de dar una realidad física a los modelos ptolemaicos pero los pensadores aristotélicos del siglo XII aspiran a algo más: estructurar una astronomía que esté de acuerdo con la Física conocida en su época, o sea la de Aristóteles aunque -- como veremos -- no desdeñan introducir nociones derivadas de la dinámica neoplatónica. En efecto, la física aristotélica sólo acepta tres especies de movimientos (centrífugos, centrípetos y circulares en torno a un centro que, en el campo de la astronomía, debe identificarse con la Tierra)[63] y esto implica un rechazo de la astronomía ptolemaica basada en excéntricas y epiciclos y el deseo de volver a un sistema de esferas homocéntricas como el de Eudoxo de Cnido. Conatos de imaginar un sistema astronómico de esta índole debieron llevarse a cabo en fecha relativamente temprana dentro del siglo XII ya que, de acuerdo con el testimonio de Maimónides en el *Guía de Perplejos* (II, 24), Ibn Bāŷŷa concibió un sistema sin epiciclos, aunque con esferas excéntricas. No conocemos más detalles acerca de las ideas astronómicas de Ibn Bāŷŷa y conviene subrayar que el propio Maimónides señala que su fuente de información no es ninguno de los discípulos de Ibn Bāŷŷa[64]. Por otra parte, tal como indica también Maimónides, una excéntrica es tan incompatible con la física aristotélica como un epiciclo. De hecho, la actitud de Maimónides no puede ser más sensata ya que no en vano se trata del único pensador de la escuela aristotélica cuya competencia astronómica está plenamente demostrada: es perfectamente consciente de la incompatibilidad entre física aristotélica y astronomía ptolemaica,

[63] Cf. p. ej. Ibn Rušd, *Al-simāᶜ al-ṭabīᶜī* ed. Puig p. 38; trad. Puig pp. 138-139.

[64] En la carta, a la que he aludido varias veces, dirigida por Ibn Bāŷŷa a su amigo Abū Ŷaᶜfar Yūsuf ibn Ḥasdāy, el filósofo aparece como partidario de Ptolomeo frente a las críticas tanto de Azarquiel, en una obra que éste habría escrito criticando el procedimiento ptolemaico para determinar el apogeo de Mercurio (?), como de las *Šukūk ᶜalà Baṭlamyūs* («Dudas sobre Ptolomeo») de Ibn al-Haytam. Cf. al-ᶜAlawī, *Rasā'il* pp. 77-79. Resulta, pues, dudosa la participación de Ibn Bāŷŷa en estos conatos de crear un sistema cosmológico no ptolemaico aunque, desde luego, pudo cambiar de actitud, al igual que Ibn Rušd, en una fase ulterior de su vida.

acepta esta última como procedimiento de cálculo extraordinariamente preciso y considera que, si bien el hombre es capaz de conocer la realidad del mundo sublunar ya que vive en él, «sólo Dios conoce la verdadera naturaleza del cielo, su substancia, forma, movimiento y causas»[65].

Por otra parte un segundo intento de estructurar un sistema astronómico con aspiraciones a describir una realidad conforme con la física aristotélica debió ser llevado a cabo por Ibn Ṭufayl. Nuestro único testimonio es, aquí, el de al-Biṭrūŷī según el cual su maestro concibió un sistema que explicaba la realidad prescindiendo de excéntricas y de epiciclos y prometió escribir un libro sobre este tema[66]. No disponemos de un solo dato más y es poco probable que Ibn Ṭufayl cumpliera su promesa[67] aunque debió transmitir sus teorías tanto a Ibn Rušd como a al-Biṭrūŷī lo que explicaría, según Carmody, las similitudes existentes entre las ideas de ambos[68].

En lo que respecta a Ibn Rušd, Sabra ha puesto de relieve la existencia de dos etapas claras en la evolución de su pensamiento: en 1174, fecha de redacción del *taljīṣ* a la *Metafísica*, Ibn Rušd era aún fiel a la cosmología ptolemaica por más que mantenía una actitud extremadamente prudente. En esta primera etapa se plantea, por ejemplo, el problema de la existencia de una novena esfera (primer motor), que transmitiría el movimiento a las esferas inferiores: rechaza esta hipótesis por considerar que una esfera existe en función de los astros que arrastra, los cuales constituyen lo más noble de sus componentes. Aplicando este principio, la esfera de las estrellas fijas en la que se encuentran, por lo menos, las 1022 estrellas del catálogo de Ptolomeo, sería la más noble de todas las esferas y a ella le correspondería ser la sede del movimiento supremo[69]. Asimismo recoge la opinión de Ibn Sīnā según el cual la ciencia física

[65] Rabbí Mošé ben Maimón (Maimónides), *Guía de Perplejos*. Trad. D. Gonzalo-Maeso, Madrid, 1983, pp. 308-311.

[66] Goldstein I, 61 y II, 49.

[67] Goldstein I, 4.

[68] Carmody, *De motibus* p. 33; «The Planetary Theory of Ibn Rushd», *Osiris* 10 (1952), 556-586 (cf. p. 559).

[69] Ibn Rušd, *Mā baᶜd al-ṭabīᶜa*, ed. Hyderabad, p. 136; *Al-samā' wa-l-ᶜālam* (id.) pp. 57-58. Un análisis de las ideas astronómicas de Ibn Rušd en el epítome (*ŷāmiᶜ*) al *De caelo* se encontrará en H. Hugonnard Roche, «L'épitomé du *De caelo* d'Aristote par Averroès: Questions de méthode et de doctrine», *Archives d'Histoire Doctrinale et Littéraire du Moyen Age* 52 (1985), 7-39.

carece de principios que excluyan la existencia de multitud de esferas estelares: esta doctrina interesantísima fue adoptada por Ibn Bāŷŷa y la menciona también Maimónides en el *Guía* (II,11)[70] aunque tanto éste como Ibn Rušd la rechazan porque resulta una hipótesis mucho más compleja ya que fuerza a admitir, en opinión de este último, que cada una de las esferas estelares tiene un movimiento propio absolutamente idéntico al de las demás o bien que cada una de ellas no es móvil por sí misma[71]. En relación con el movimiento diurno de la esfera celeste, considera asimismo la posibilidad de que la Tierra realice un movimiento de rotación de 360° en 24 horas mientras las estrellas permanecen inmóviles pero rechaza esta hipótesis por considerarla extraña a la naturaleza humana y contraria a la evidencia misma[72]. Por otra parte, en esta misma etapa se plantea también un problema que será absolutamente central tanto en la evolución posterior de su pensamiento astronómico como en el sistema de al-Biṭrūŷī: ¿cómo puede concebirse que un único primer motor transmita a las esferas estelares y planetarias movimientos en sentido contrario (movimiento diurno de E a W y movimientos en longitud de W a E)?. Ibn Rušd no puede, en este momento, dar una explicación a esta contradicción aparente y se limita a recurrir a una metáfora que toma de las *Hipótesis* de Ptolomeo: concebir el cosmos como un animal gigantesco en el que existe un motor único que hace avanzar al conjunto, por más que cada uno de sus miembros parezcan moverse de manera autónoma y sin respetar el sentido del movimiento del conjunto[73]. Con este punto de partida, su universo es el de la cosmología ptolemaica y, en su *ŷāmiᶜ* de la *Metafísica*, acepta la existencia de un motor para cada uno de los movimientos característicos de los planetas siguiendo el esquema siguiente:

[70] Maimónides, *Guía* trad. Gonzalo Maeso p. 271.

[71] Ibn Rušd, *Al-samā' wa-l-ᶜālam* pp. 53-54.

[72] Ibn Rušd, *Al-samā' wa-l-ᶜālam* p. 53. Cf. sobre esta cuestión H. Hugonnard-Roche, «Remarques sur l'évolution doctrinale d'Averroès dans les commentaires au *De caelo*. Le problème du mouvement de la terre», *Mélanges de la Casa de Velázquez* 13 (1977), 103-117.

[73] Ibn Rušd, *Al-samā' wa-l-ᶜālam* pp. 59-61. Cf. Sabra, «Andalusian Revolt», quien atrajo la atención sobre este pasaje en el resumen-comentario a la *Metafísica*.

	Nº de motores
Estrellas fijas:	1
Saturno, Júpiter, Marte: 5 x 3 =	15
Venus:	7
Mercurio:	8
Sol:	1
Luna:	5

Lo anterior da lugar a un total de 37 motores aunque Ibn Rušd dice que son 38, lo que hace pensar en la posibilidad de que considere la existencia de un motor suplementario para el movimiento propio del apogeo solar (?). A los 37 o 38 motores anteriores añade 8 más que corresponden al movimiento diurno de las 8 esferas, lo cual da un total de 45 o 46 motores con los que podrían explicarse todos los movimientos celestes. El pasaje termina con un rechazo explícito del homocentrismo: «No necesitamos imaginar una multitud de esferas cuyo centro sea el centro del universo y cuyos polos sean también los del universo»[74].

En una fecha difícil de determinar, pero situada probablemente entre 1186 y 1190, Ibn Rušd escribe su gran comentario (*tafsīr*) a la *Metafísica*[75] en el que su actitud frente a los problemas astronómicos ha cambiado radicalmente. Niega ahora excéntricas y epiciclos—al igual que, obviamente, niega el ecuante ptolemaico — porque implican movimientos en sentido contrario y en torno a centros que no coinciden con el centro de la Tierra. Introduce asimismo una idea que será abundantemente utilizada por al-Biṭrūǧī: si el primer motor se encuentra en la parte más exterior del sistema, la energía que transmite irá disminuyendo a medida que se aleje del motor y, en virtud de este principio, la esfera de las estrellas fijas será la más rápida seguida por las de Saturno, Júpiter, Marte etc. Esto implica que, aunque no explicite la idea del *taqṣīr* (*incurtatio*) de la que hablaré al ocuparme de al-Biṭrūǧī, de algún modo está considerando el movimiento diurno de W a E como movimiento básico procedente

[74] Ibn Rušd, *Ma ba^{c}d al-ṭabī^{c}a* pp. 136-138.

[75] Para la cronología de sus obras cf. M. Cruz Hernández, *Abū-l-Walīd ibn Rušd (Averroes). Vida, obra, pensamiento, influencia*, Córdoba, 1986, pp. 55-58. En torno a las ideas astronómicas de Ibn Rušd en esta etapa cf., además de los artículos de Carmody y Sabra ya citados, R. Arnaldez y A.Z. Iskandar, «Ibn Rushd» en *D.S.B.* 12 (Nueva York, 1975), 1-9.

del primer motor, mientras que los movimientos en longitud no constituyen más que una especie de «retraso» o «freno» a este movimiento fundamental. Esta idea básica de acuerdo con la cual la esfera de las estrellas fijas sería la que tiene un movimiento más rápido no es, en modo alguno, original de Ibn Rušd ni de al-Biṭrūǧī sino que tiene un claro origen clásico: Lucrecio la atribuye a Demócrito[76] y Alejandro de Afrodisia a los pitagóricos; por otra parte, Marciano Capella (*De nuptiis* VIII, 853) asegura que los peripatéticos mantenían que los planetas no se mueven en sentido contrario al movimiento de la esfera celeste, sino que son adelantados, debido a la velocidad de esta última que no son capaces de mantener. Ideas similares aparecen, asimismo, en Teón de Alejandría.

Claro origen clásico tiene también la concepción de Ibn Rušd y al-Biṭrūǧī[77] según los cuales la combinación de movimiento diurno y movimiento en longitud de los cuerpos celestes da lugar a una espiral. Suele considerarse, por ejemplo, que el Sol describe diariamente un paralelo al ecuador en virtud de su movimiento diurno de E a W; ahora bien, dado que el Sol avanza en la eclíptica unos 59 minutos diarios, es evidente que su movimiento diurno no es un círculo sino que, en el momento en que vuelve a su punto de partida (a su paso por el meridiano local, por ejemplo) no se encuentra en el mismo punto del que salió ya que su declinación se habrá modificado en virtud de su avance en longitud. La curva que describirá el Sol — al igual que cualquier cuerpo celeste — será claramente una espiral (*lawlab*). Esta idea se encuentra ya en el *Timeo* platónico[78] así como también, mucho más tarde, en Teón de Alejandría. Ahora bien, curiosamente, tanto Ibn Rušd como al-Biṭrūǧī la derivan de citas literales de traducciones de Aristóteles (*Metafísica*, *De caelo*) a pesar de que no aparece en el texto original griego de las mismas. Puede tratarse de interpolaciones, tal vez muy antiguas, en el texto aristotélico[79] o bien de malas traducciones: el pasaje aristotélico del *De caelo* (II,8), por ejemplo, habla de *kylisis* (movimientos giratorios en órbita) y *dínesis* (movimientos de rotación). Ahora bien, *dínesis* es el movi-

[76] D.R. Dicks, *Early Greek Astronomy to Aristotle* (Londres, 1970) p. 139.

[77] Cf. p. ej. Goldstein I, 61-62, 85-86; II, 49, 51, 53, 157-159.

[78] Dicks, *Early Greek Astronomy* p. 129.

[79] Carmody, «Planetary theory» pp. 561, 570-572; *De motibus* p. 54.

miento de un cuerpo que gira en torno a su eje sin avanzar, pero sugiere asimismo la idea de «torbellino», con lo que cabe en lo posible que hubiera sido traducido por *lawlab*[80].

Con lo expuesto hasta aquí puede constatarse que Ibn Rušd carece de un sistema astronómico propiamente dicho y que se limita a formular una serie de ideas de carácter general, buena parte de las cuales serán aprovechadas por al-Biṭrūŷī, siendo perfectamente consciente de las dificultades y limitaciones que encierran: un sistema homocéntrico, por ejemplo, no puede justificar las variaciones en el diámetro aparente de la Luna o la existencia de eclipses de Sol totales y anulares. El mismo lo confiesa en su gran comentario a la *Metafísica*:

> En mi juventud tuve esperanzas de llevar a feliz término estas investigaciones [astronómicas]. Ahora que he alcanzado la vejez las he perdido ya que surgieron varios obstáculos que me impidieron avanzar en este camino. Lo que expongo sobre el tema atraerá, tal vez, la atención de los investigadores futuros. La ciencia astronómica de nuestro tiempo no ofrece nada de lo que pueda derivarse una realidad existente. El modelo [astronómico] que ha sido derivado en la época en la que vivimos está de acuerdo con los cálculos pero no con lo que existe[81].

5.3.4 EL SISTEMA ASTRONOMICO DE AL-BIṬRŪŶĪ

5.3.4.1 *Generalidades.*

El caso de al-Biṭrūŷī es radicalmente distinto. Nos encontramos con un autor del que sólo conocemos el nombre (Abū Isḥāq [ibn] al-Biṭrūŷī, Nūr al-Dīn [?]) y que fue discípulo de Ibn Ṭufayl el cual ya había muerto (1185) en el momento en el que compuso su *Kitāb fī-l-*

[80] J. Samsó, «Sobre la astronomía de al-Biṭrūŷī», *Al-Andalus* 36 (1971), 461-465.

[81] Tomo la cita de Arnaldez-Iskandar, «Ibn Rušd», *D.S.B.* 12, 3.

hay'a («Libro de cosmología»). Conocemos con bastante precisión la fecha de esta obra ya que algunas de sus ideas características parecen haber sido citadas en el *Kitāb al-madd wa-l-ŷazr* (cf *supra* § 5.3.2), conservado en un manuscrito fechado en 1192: podemos, pues, suponer que compuso su obra en algún momento comprendido entre 1185 y 1192. Su rápida traducción al latín, llevada a cabo por Miguel Scoto en Toledo en 1217, facilitó su difusión europea, a lo largo del siglo XIII, y la obra fue muy bien acogida en los medios escolásticos en los que el sistema de al-Biṭrūŷī fue considerado una alternativa válida al de Ptolomeo[82]. En lo relativo a su difusión en el Oriente Islámico, podemos documentarla gracias al manuscrito de esta obra conservado en El Escorial, que fue copiado por un cristiano egipcio en 1281, aunque sospecho que su introducción en Egipto debió ser anterior y pudo deberse a Maimónides que residió en Fusṭāṭ en 1165-1185 y en 1185-1204.

Con al-Biṭrūŷī sí tenemos un sistema astronómico, aunque sea meramente cualitativo[83] y no soporte la prueba de fuego de unas tablas. Como cabría esperar se trata de un sistema homocéntrico en cuanto, en él, los cuerpos celestes se encuentran siempre a la misma distancia del centro de la Tierra. Pese a ello, como veremos, el homocentrismo de al-Biṭrūŷī no prescinde del uso de excéntricas y epiciclos ya que, como hemos visto, adapta el tercer modelo de trepidación de Azarquiel a sus modelos planetarios y diseña deferentes y epiciclos polares que, manteniendo el planeta y todos los círculos de su maquinaria celeste en la superficie de la esfera correspondiente, permiten que la distancia del planeta y la de cada uno de los puntos de sus círculos con respecto al centro de la Tierra sea siempre la misma. Es muy posible que, tal como apunta Kennedy, la fuente de inspiración de al-Biṭrūŷī fuese el sistema homocéntrico de

[82] R.S. Avi-Yonah, «Ptolemy vs. al-Bitruji. A Study of Scientific Decision-Making in the Middle Ages», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 35 (1985), 124-147; A. Cortabarría, «El astrónomo Alpetragio en las obras de S. Alberto Magno», *La Ciudad de Dios* 193 (1980), 505-535; «Deux sources de S. Albert le Grand: al-Bitruji et al-Battani», *Mélanges de l'Institut Dominicain d'Etudes Orientales* 15 (1982), 31-52.

[83] Tal como reconoce el propio autor: cf. Goldstein I, 76 y 154; II, 127-129 y 425-427.

Eudoxo de Cnido que pudo conocer a través de una fuente indirecta[84], posiblemente no muy precisa: el propio autor señala que, tras haber oido las opiniones de Ibn Ṭufayl, empezó a estudiar las opiniones de los antiguos no encontrando más que vagas sugerencias como la del movimiento en espiral (*lawlabī*) que atribuye, como hemos visto, a Aristóteles.

Todos los movimientos celestes derivan de un primer motor situado en la *novena esfera*[85] que gira con el movimiento más rápido, más fuerte y más simple, en dirección E-W, 360º cada veinticuatro horas[86]: atribuye el descubrimiento de esta novena esfera a los astrónomos matemáticos modernos, con lo que parece estar aludiendo a la teoría de la trepidación que, sin duda, conoce bien, al menos en su versión zarqalí. Este movimiento es transmitido a las esferas inferiores que resultan cada vez más lentas: de este modo, y siguiendo una idea que aparecía ya en Ibn Rušd, la esfera de las estrellas fijas tiene una rotación más rápida que la de Saturno y ésta que la de Júpiter. Esta disminución progresiva sigue hasta llegar a la esfera de la Luna que es la más lenta de todas las esferas planetarias. La velocidad de giro de las distintas esferas constituye el criterio objetivo adoptado por al-Biṭrūŷī para proponer su orden característico de las esferas planetarias (Luna- Mercurio - Sol- Venus)[87] al que ya me he referido antes.

5.3.4.2 *La dinámica neoplatónica en la obra de al-Biṭrūŷī.*

Se nos plantea aquí un problema físico -- el de la transmisión del movimiento desde la novena esfera hasta las esferas inferiores-- y es curioso constatar que, aunque al-Biṭrūŷī parece, en un momento determinado, aludir a una explicación aristotélica del fenómeno, a la hora de la verdad optará por recurrir a la dinámica neoplatónica. En

[84] E.S. Kennedy, recensión del *De motibus* de Carmody en *Speculum* 29 (1954), 246-251; «Alpetragius Astronomy», *Journal for the History of Astronomy* 4 (1973), 134-136.

[85] Un curioso pasaje alude a la existencia de diez esferas (Goldstein II, 73). Sospecho que se trata de un error del manuscrito ya que el número *diez* no aparece en la traducción latina (Carmody p. 82) y Goldstein lo omite en la traducción inglesa (Goldstein I, 65).

[86] Goldstein I, 63 y 66; II, 59 y 77.

[87] Goldstein I, 124-125; II, 315-321.

efecto, la explicación aristotélica se basaría en una transmisión por contacto entre las distintas esferas y a ello parece referirse al-Biṭrūŷī cuando dice:

> Todo el mundo sabe que el conjunto del cielo se compone de diez [*sic*] esferas separadas unas de otras pero que se encuentran en contacto perfecto unas con otras. Dado que unas esferas se mueven en el interior de las otras, sus superficies son perfectamente redondas e iguales y se tocan unas a otras ya que no existe ningún cuerpo intermedio [...] y cada una de ellas está en contacto con la totalidad de la superficie de la otra[88].

Observemos que ni en la cita anterior ni en los pasajes paralelos aparece ninguna mención explícita de la transmisión del movimiento de una esfera a la otra: las esferas giran unas dentro de otras pero no son movidas unas por otras.

Al-Biṭrūŷī resuelve el problema recurriendo a la teoría del *impetus* que toma de la dinámica neoplatónica de Juan Filópono (s. VI), por más que, en su exposición, el *impetus* no parece constituir más que una especie de metáfora con la que pretende explicarse algo que resulta difícilmente explicable. Veamos el pasaje más significativo:

> El cuerpo supremo [*al-ŷirm al-aʿlà*, el primer motor] se encuentra separado [*mufāriq*] de la fuerza [*quwwa*] que transmite a las esferas que se encuentran por debajo de él, del mismo modo que quien lanza una piedra o una flecha se encuentra también separado de la misma y no acompaña a la fuerza que ha transmitido, o bien a la manera del bastón que hace que se mueva la piedra mientras y tanto continúa moviéndola.

[88] Goldstein I, 65-66 y II, 73-75; Carmody p. 82. Cf. también otros pasajes semejantes en Goldstein I, 65 y 69-70; II, 71 y 99; Carmody pp. 82 y 86.

> Esta fuerza se asemeja a la que anima a la flecha cuando esta es disparada por el arquero y se debilita a medida que se aleja del motor, llegando a desaparecer en el momento en el que cae la flecha. De esta misma manera, la fuerza, transmitida por el cuerpo supremo a [las esferas que se encuentran] por debajo de él, se debilita cada vez más hasta que llega a la Tierra que, por su propia naturaleza, es inmóvil[89].

Este pasaje es importante ya que constituye la primera mención andalusí de la teoría del *impetus* que fue desarrollada en Oriente, entre otros, por el filósofo judío -- luego converso al Islam -- Abū-l-Barakāt al-Bagdādī (m. después de 1164): su introductor en al-Andalus fue, tal vez, Abū Sa^{c}d Isaac, hijo de Abraham b. ^{c}Ezra, el cual estudió en Oriente con Abū-l-Barakāt[90]. Esta teoría fue formulada, en un principio, para explicar los movimientos violentos del mundo sublunar y no para justificar los movimientos naturales de las esferas celestes. Incluso si se acepta que al-Biṭrūŷī habla en un plano metafórico, parece claro que este autor parece estar utilizando la misma dinámica para los dos tipos de movimientos así como para la totalidad del cosmos. Esto se confirma por la transmisión de la fuerza del primer motor hasta la misma Tierra[91]: esta fuerza llega a la esfera del fuego en la que hace girar a las *ašbāh al-kawākib* (*similibus stellarum*, ¿estrellas fugaces?, ¿cometas?), a la esfera del aire en la que, dada la naturaleza de este elemento, produce movimientos asistemáticos, y finalmente a la esfera del agua en la que produce las mareas[92]. Una idea similar aparece en el comentario

[89] Goldstein I, 78; II, 137. Miguel Scoto -- tal vez más aristotélico que al-Biṭrūŷī --omite aquí la primera parte de la argumentación y sólo utiliza el ejemplo de la piedra y de la flecha para justificar la disminución progresiva del movimiento (Carmody p. 93 n° 11). Véase otro pasaje similar en Goldstein I, 79; II, 139; Carmody p. 94 n° 13.

[90] S. Pines, *Studies in Abu'l-Barakāt al-Baghdādī. Physics and Metaphysics*, Jerusalem-Leiden, 1979, p. 101.

[91] Esto parece contradecir, en parte, la afirmación aristotélica de al-Biṭrūŷī: "Todo lo que se encuentra bajo el cielo no tiene movimientos circulares sino movimientos en línea recta de acuerdo con su propia naturaleza". Goldstein I, 79; II, 135; Carmody p. 93 n° 13.

[92] Goldstein I, 64-65; II, 63-69; Carmody pp. 80-82.

(*ŷāmiᶜ*) de Averroes a la *Meteorología* aristotélica: los cometas y otros fenómenos semejantes son movidos por el movimiento de la esfera celeste[93].

La influencia de la dinámica neoplatónica en al-Biṭrūŷī no se limita a la teoría del *impetus* sino que nuestro autor parece adoptar también una segunda idea cuya fuente sería, una vez más, Abū-l-Barakāt al-Bagdādī. En efecto éste, en su *Kitāb al-muᶜtabar*[94], afirma que cada esfera celeste siente un deseo (*yaštāq*) por la esfera que se encuentra por encima de ella. Este deseo es similar al que sienten los cuatro elementos por ocupar su lugar natural. Lo sienten tanto el conjunto de la esfera como cada una de sus partes. Dado que, en un momento determinado, una parte de la esfera inferior sólo puede aproximarse a una sola parte de la esfera superior, este deseo no será satisfecho nunca de manera plena. Por esta razón, cada una de las esferas girará con un movimiento circular que será el resultado del esfuerzo realizado por cada una de sus partes para aproximarse a cada una de las partes de la esfera superior. Pines observa también aquí un intento de aproximar las dinámicas terrestre y celeste. No es difícil encontrar en al-Biṭrūŷī ideas similares a las expuestas por Abū-l-Barakāt ya que, en el caso del autor andalusí, el deseo de aproximarse a la esfera superior se convertirá en el deseo de imitar a la esfera suprema en su rotación:

> Todas las esferas que se encuentran por debajo de ella [i.e. de la esfera suprema, *al-falak al-aᶜlà*] se mueven por su [= de la esfera suprema] movimiento y quieren alcanzar su fin bien sea en virtud de su propia naturaleza [*bi-l-ṭabᶜ*] bien sea por el deseo [*šawq*] que sienten de imitarla [*tašabbuh*] y de seguir el ejemplo de su movimiento o incluso de alcanzarla[95].
>
> Cada una de las esferas que se encuentran por debajo de ella desea [*yaštāq*] imitarla y se

[93] Ibn Rušd, *Kitāb al-aṯār al-ᶜulwiyya*, ed. Hyderabad, pp. 12-13.

[94] Pines, *Studies in Abu'l-Barakāt* pp. 175-180.

[95] Goldstein I, 75; II, 125; Carmody p. 90 nº 18.

> mueve para seguirla con un movimiento que procede de la fuerza que ha recibido de la esfera superior[96].

El deseo que siente cada esfera planetaria es el de alcanzar la perfección (*kamāl*, mal traducido por Miguel Scoto por *complementum*) y las esferas que se encuentran más próximas al primer motor son las que más se le asemejan y, por tanto, las más rápidas[97]. Observemos, de pasada, que la noción de *tašawwuq* en el contexto del movimiento de las esferas planetarias no aparece por vez primera en al-Andalus en la obra de al-Biṭrūŷī ya que se encuentran en los comentarios (*ŷāmiᶜ*) de Ibn Rušd a la *Metafísica*[98] y al *De caelo*[99].

Impetus y *Tašawwuq* constituyen, pues, las dos nociones tomadas de la dinámica neoplatónica que informan todo el sistema astronómico de al-Biṭrūŷī y le sirven para intentar resolver el problema fundamental que, como hemos visto, ya se había planteado Ibn Rušd: explicar los movimientos aparentes de los cuerpos celestes sin recurrir a los movimientos en sentido contrario de la astronomía ptolemaica. La esfera del primer motor transmitirá el movimiento diurno, de E a W, a las esferas inferiores y esta transmisión tendrá lugar de manera similar a la del *impetus* del mundo sublunar. La fuerza recibida del primer motor se debilitará, en las esferas planetarias, a medida que estas se alejen del primer motor y el «retraso» (*taqṣīr*, *incurtatio*) será analizado como un movimiento en sentido contrario (movimiento en longitud, de W a E). Por otra parte, este *taqṣīr* será compensado por el deseo (*tašawwuq*) de alcanzar la perfección y de asemejarse a la esfera del primer motor sentido por cada esfera planetaria. Este deseo es mayor en las esferas que se encuentran más cerca de la esfera superior y la velocidad de los planetas disminuye cuando sus esferas se aproximan al centro del sistema porque el *taqṣīr* aumenta y el *tašawwuq* disminuye.

[96] Goldstein I, 76-77; II, 129-131; Carmody p. 92 nº 2.

[97] Goldstein I, 63, 78; II, 61, 135; Carmody pp. 63, 93 (nº 9). Véase también Goldstein I, 78-79; II, 139 (M. Scoto omite este pasaje: cf. Carmody pp. 93-94). Otros pasajes con ideas paralelas se encuentran en Goldstein I, 76, 102; II, 129 y 223-225; Carmody, pp. 91 (nº 24-25) y 110 (nº 12).

[98] Ibn Rušd, *Mā baᶜd al-ṭabīᶜa*, ed. Hyderabad, p. 136.

[99] J. Samsó, «"Astrofísica" en la España del siglo XIII», *Trobades Científiques de la Mediterrània. Maó, Menorca 1987. Història de la Física* ed. por L. Navarro Veguillas (Barcelona, 1988), 43-79 (cf. p. 55 n. 21).

5.3.4.3 *Los modelos de al-Biṭrūŷī.*

5.3.4.3.1 Las estrellas fijas.

Si, como hemos visto, al-Biṭrūŷī identifica el *taqṣīr* con el movimiento en longitud, nos queda por analizar la función precisa del *tašawwuq* dentro de su sistema astronómico. Para ello debemos considerar, con algún detalle, sus modelos. Daré, a continuación, dos ejemplos: el de la octava esfera, o esfera de las estrellas fijas y, de manera general, el de los planetas y la Luna. En lo que se refiere al primero tenemos, en la Fig. 38:

O y S los polos del Ecuador,
Z y E los polos de la Eclíptica,
AMGK el Ecuador,
ADGB la Eclíptica,
A y G los equinoccios,
D y B los solsticios,
OTS un horizonte en esfera recta.

En virtud del movimiento universal recibido de la novena esfera, la esfera de las estrellas fijas gira de E a W pero sufre un «retraso» (*taqṣīr*) debido al cual mientras el punto que corresponde al punto A en la novena esfera completa una revolución de 360° en veinticuatro horas, el polo de la eclíptica Z no llegará a realizarla sino que, en el mismo período de tiempo, no alcanzará la misma posición Z sino que se quedará en Z'. Con ello producirá la impresión de desplazarse en sentido contrario al movimiento universal. Por otra parte, si imaginamos una estrella situada en el punto A, a 90° de distancia del polo Z, al desplazarse aparentemente el polo al punto Z', A se desplazará igualmente a A' y, cuando Z se haya desplazado a F, la estrella que se encontraba originariamente en A habrá pasado a ocupar la posición D.

Hasta aquí al-Biṭrūŷī ha pretendido justificar, mediante el *taqṣīr*, el cambio en declinación de una estrella que supone situada sobre la eclíptica y a la que mantiene siempre con latitud 0°. Ahora bien, nuestro autor añade al *taqṣīr* un segundo movimiento al que denomina *istīfā'* («compleción» o acción de completar), que es el que realiza la esfera en torno a sus propios polos (que permanecen fijos)

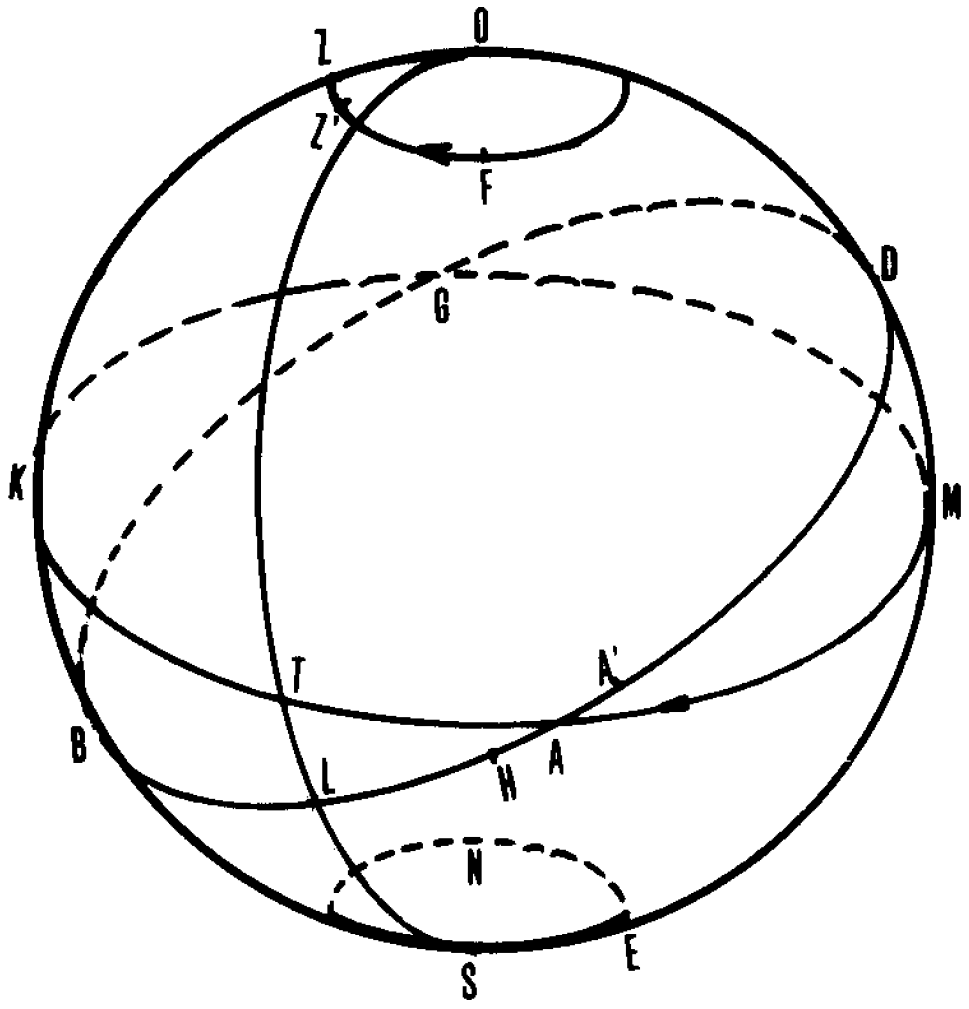


Fig. 38
Modelo de al-Biṭrūŷī para justificar la precesión de las estrellas fijas.

en el sentido del movimiento diurno pero en el plano de la eclíptica. Aunque, en este caso, no existe una identificación explícita por parte de al-Biṭrūŷī, parece claro que el *istīfā'*[100] se debe al *tašawwuq* o sea al deseo que siente la octava esfera de imitar a la novena y de compensar el retraso que ha sufrido debido al *taqṣīr*. La velocidad de ambos movimientos es la misma pero en sentido contrario y en planos distintos: en virtud del *taqṣīr* los polos de la eclíptica describen dos paralelos al ecuador, FZ y EN; en virtud del *istīfā'* los polos de la eclíptica quedan inmóviles pero la esfera gira, en el plano de la eclíptica en dirección AB. De este modo, y debido al *istīfā'*, la estrella que se encontraba en A pasa, al cabo de un tiempo, a encontrarse en L. Sea, en un momento determinado, OTLS el horizonte en esfera recta. Al-Biṭrūŷī demuestra (utilizando dos teoremas trigonométricos de Ŷābir b. Aflaḥ) que AL > AT. Por consiguiente, mientras el arco AT cruza el horizonte OTLS, el arco de la eclíptica AL no logrará cruzarlo simultáneamente sino que quedará retrasado en una cantidad AH = AL − AT. Parecerá, por ello, como si el punto L se hubiera desplazado sobre la eclíptica en sentido contrario al movimiento diurno (precesión).

Lo anterior se cumplirá mientras y tanto el punto L se encuentre a una distancia máxima de 45° a ambos lados de A. Pero, en el cuadrante de la eclíptica cuyo punto medio es el solsticio B se cumple que:

$$AB = AL + LB = 90°$$
$$AK = AT + TK = 90°$$

y si, como hemos visto, AL > AT, entonces TK > LB.

Por tanto, el arco LB tardará menos tiempo en cruzar un horizonte OKBS que su correspondiente arco de ecuador TK. Parecerá entonces como si el desplazamiento de las estrellas se hubiera producido en sentido contrario al orden de los signos zodiacales y en el mismo sentido que el movimiento diurno[101].

El modelo estelar de al-Biṭrūŷī resulta un tanto confuso pero revela una cierta dosis de imaginación que le permite hacer frente al problema de la justificación de los dos movimientos estelares en

[100] Sobre la noción de *istīfā'* cf. Goldstein I, 80-81, 91-92, 97; II, 145-149, 181-183, 203; Carmody pp. 95-96, 102, 106-107.

[101] Goldstein I, 94-99; II, 195-213; Carmody pp. 105-108.

sentido contrario. Tal como ha demostrado Goldstein[102] el modelo da lugar a variaciones en la velocidad de precesión tal como pretendía el propio al-Biṭrūŷī quien consideraba que una velocidad variable era un descubrimiento de los astrónomos modernos (*al-muta'jjirūn*)[103] en los que hay que reconocer, sin duda, a la escuela de Azarquiel, partidaria de la teoría de la trepidación.

5.3.4.3.2 Los modelos planetarios.

Al-Biṭrūŷī utiliza el mismo modelo para Saturno, Júpiter, Marte y Venus y de hecho, en una descripción superficial, puede aplicarse también a Mercurio y la Luna. El modelo es el siguiente: en la Fig. 39, HKT es el paralelo al Ecuador que describe el polo de la octava esfera y su radio OT es de 24°, igual a la oblicuidad de la eclíptica que, para al-Biṭrūŷī, es constante. Por otra parte el polo K del planeta A, situado siempre a 90° de éste, recorre el epiciclo polar KMSL, de centro T. El radio KT del epiciclo polar es siempre igual a la máxima digresión de cada planeta en latitud. Con un razonamiento análogo al utilizado en el caso de las estrellas fijas, el movimiento en longitud se produce debido al *taqṣīr* que sufre el punto T, centro del epiciclo polar, el cual se desplazará sobre el deferente polar HKT en sentido contrario al movimiento diurno. El giro del polo K del planeta sobre el epiciclo polar KMSL corresponde al movimiento en anomalía en los modelos ptolemaicos y, dado que en éstos, el movimiento del planeta sobre su epiciclo tiene lugar en el mismo sentido que el movimiento del centro del epiciclo sobre su deferente, o sea en sentido contrario al movimiento diurno, cabe deducir que lo mismo sucede en los modelos de al-Biṭrūŷī ya que éste, en general, no hace más que desplazar a la zona del polo la maquinaria y la mayoría de los parámetros ptolemaicos.

Ya que, como hemos visto, el planeta A se encontrará siempre a 90° de su polo K, describirá, a su vez, el epiciclo AC cuyo centro N se desplazará a lo largo de la eclíptica con velocidad igual al movimiento medio del planeta en longitud. El uso de un epiciclo polar y su correspondiente proyección en la zona de la eclíptica permiten a al-Biṭrūŷī justificar los movimientos directos, estaciones y retrogra-

[102] Goldstein I, 16-18.

[103] Goldstein I, 80; II, 143; Carmody p. 94 n° 2.

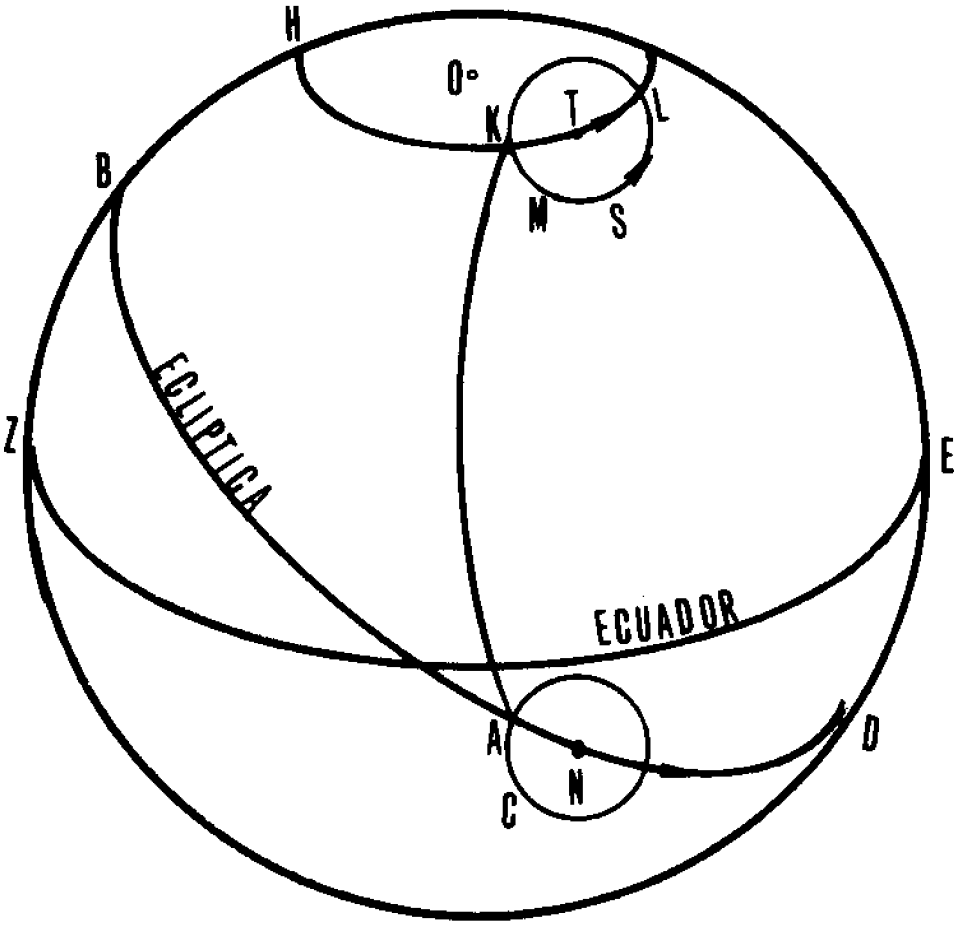


Fig. 39
Modelo de al-Biṭrūǧī para representar el movimiento de un planeta.

daciones de los planetas de la misma manera que en los modelos ptolemaicos. Lo malo es que nuestro autor pretende justificar, mediante el movimiento en anomalía, las alteraciones en latitud de los planetas y esto entra ya en el terreno de lo inaceptable. Dejando de lado pequeños detalles como éste, al-Biṭrūŷī describe sus modelos planetarios con un estilo muy ptolemaico, a veces disimulado mediante cambios en la terminología. De este modo si *taqṣīr* designa, en general, el desplazamiento en longitud de un planeta o del Sol, *al-taqṣīr al-ajīr* (*incurtatio postrema* o retraso último) significa longitud media del planeta y *al-taqṣīr al-awwal* (*incurtatio prima* o primer retraso) es la suma de la longitud media y la anomalía media del planeta que, al igual que en los modelos ptolemaicos, será igual a la longitud media del Sol para los planetas superiores.

Si, como hemos visto, sabemos muy bien cómo se justifica, en la teoría de al-Biṭrūŷī, el movimiento de los planetas en longitud, ¿qué sucede con su desplazamiento en anomalía?. Una lectura atenta del texto nos muestra que al-Biṭrūŷī identifica anomalía con *tašawwuq*. Nuestro autor afirma repetidamente que el movimiento en anomalía es el que el planeta lleva a cabo con el objeto de alcanzar la perfección[104]; por otra parte, la mayor parte de los pasajes a los que he aludido a propósito del *tašawwuq* insisten en el hecho de que las esferas planetarias giran en torno a sus propios polos cuando realizan este movimiento compensatorio y esto parece poderse relacionar con el giro del polo del planeta en torno al epiciclo polar en los modelos de al-Biṭrūŷī. Ahora bien, este movimiento de compensación debería producirse en el sentido del movimiento diurno y hemos visto que, si al-Biṭrūŷī sigue aquí la teoría ptolemaica, el movimiento en anomalía se produce precisamente en sentido contrario. Hay que reconocer que los textos del *Kitāb fī-l-hay'a* no son muy claros al respecto y al-Biṭrūŷī se limita muchas veces a señalar, para justificar las variaciones en la velocidad de los planetas, movimientos directos, estaciones y retrogradaciones, que el giro del polo del planeta sobre su epiciclo se produce, a veces, en el mismo sentido que el giro del centro del epiciclo sobre el deferente polar y, otras veces, en sentido contrario. Sólo en el caso de la Luna en el que--en el modelo ptolemaico -- los movimientos en longitud y en ano-

[104] Cf. por ejemplo Goldstein I, 140 y II, 377 (Mercurio); I, 144 y II, 393 (Luna).

malía tienen lugar en sentido contrario, al-Biṭrūŷī se siente a sus anchas y se apresura a subrayar el hecho[105].

La identificación que propongo de *tašawwuq* con anomalía merece un segundo comentario: tal como hemos visto, el *tašawwuq* debiera reducirse progresivamente a medida que las esferas planetarias se alejan del primer motor en la misma medida en la que aumenta el *taqṣīr* y esto debiera dar lugar a una reducción progresiva del movimiento medio en anomalía. Este principio se cumple con los tres planetas superiores pero, desgraciadamente, el fenómeno contrario se produce con los planetas inferiores y la Luna ya que - de acuerdo con los parámetros ptolemaicos que menciona el propio al-Biṭrūŷī - la velocidad del movimiento en anomalía de Venus es mayor que la de Mercurio y ésta, a su vez, mayor que la de la Luna. Al-Biṭrūŷī, evidentemente, omite todo comentario.

5.3.4.4 *Conclusiones.*

Frente a sus predecesores (Ibn Bāŷŷa, Ibn Ṭufayl e Ibn Rušd), al-Biṭrūŷī tiene el mérito indudable de haber intentado crear un sistema astronómico que pudiera tener realidad física de acuerdo con las concepciones al uso en su tiempo. Resulta interesante el subrayar que, a pesar de tener un punto de partida aristotélico, las concepciones físicas que maneja nuestro autor son neoplatónicas lo cual hace pensar en una cierta apertura de espíritu por su parte al no dejarse encerrar en una ortodoxia peripatética. Esto enlaza bien con el epígono de un movimiento de filósofos cuyo primer representante es Ibn Bāŷŷa el cual, como veremos enseguida es un representante importantísimo de la dinámica neoplatónica y, sin duda, el único físico digno de este nombre que conocemos en al-Andalus.

Hay que reconocer en al-Biṭrūŷī un ingenio indudable para buscar soluciones a problemas que carecían de ellas si se partía de las premisas de su autor. La Física del siglo XII, al contrario de las Matemáticas, se encontraba en un nivel de desarrollo demasiado rudimentario como para basar en ella un sistema astronómico y la astronomía de al-Biṭrūŷī supone un indudable paso atrás en relación con la labor constructiva llevada a cabo por los astrónomos matemá

[105] Goldstein I, 144; II, 393; Carmody p. 143 nº 8.

ticos del XI y por sus sucesores del siglo siguiente. Por otra parte, no hay más remedio que reconocer que al-Biṭrūŷī no respeta muchos veces sus propios presupuestos. Así, si bien su sistema -- como hemos visto -- es homocéntrico, sus movimientos circulares no tienen por centro el centro de la tierra: los centros de sus deferentes y epiciclos polares se encuentran en la superficie de la esfera planetaria correspondiente y no en el centro del sistema. Con esto al-Biṭrūŷī se aparta claramente de la ortodoxia representada por la última fase de la evolución del pensamiento de Ibn Rušd y no se puede objetar gran cosa porque no tiene más remedio que actuar de este modo si quiere obtener algún resultado. Mucho más grave me parecen sus inconsistencias en lo relativo al sentido de los giros de los polos de los planetas en sus epiciclos y el que trate desesperadamente de disimular tales inconsistencias. La difusión de sus doctrinas en Europa y las polémicas a las que dio lugar a lo largo del siglo XIII dio escasos beneficios a la historia de la astronomía.

5.4 LA FISICA DE IBN BĀŶŶA (AVEMPACE).

El siglo XII parece ser la primera etapa en la que surge en al-Andalus un interés por la Física y, muy concretamente, por un tipo especial de razonamiento físico interesado, ante todo, por cuestiones de carácter teórico y que rara vez siente la necesidad de experimentar y de cuantificar: no se cultivó en al-Andalus la Optica geométrica[106], la única de las disciplinas físicas en la que los problemas se afrontaban desde un ángulo matemático y cuantitativo, recurriéndose, a veces, a la experimentación[107]. La caracterización de la Física andalusí del XII implica básicamente el contrastar la influencia de Aristóteles, seguido por Ibn Rušd, con la de la dinámica neoplatónica cuyos ecos ya hemos visto en el capítulo astronómico (cf. *supra* § 5.3.4.2) y cuyo principal defensor será Ibn Bāŷŷa. Ibn Rušd seguirá, en general, a Aristóteles y sólo se apartará de él cuando advierta en sus obras alguna contradicción que tratará de subsanar dejando a su

[106] Con la excepción, tal vez, de Ibn Rušd dado el carácter enciclopédico de sus preocupaciones. Cf. p.ej. su comentario (*ŷāmiᶜ*) a la *Meteorología* aristotélica: *al-Aṯār al-ᶜulwiyya*, ed. Hyderabad, pp. 59 ss.

[107] Sobre esta caracterización de la Física medieval cf. A.C. Crombie, «Quantification in Medieval Physics». *Isis* 52 (1961), 143-160. Sobre la Física en la Edad Media véase E. Grant, *Physical Science in the Middle Ages*. Cambridge, 1977.

maestro en buen lugar. En ciertas ocasiones, la evolución postaristotélica de la ciencia le obligará, no obstante, a aceptar ligeras modificaciones, sobre todo cuando advierte una discordancia entre Aristóteles y Galeno. Así, por ejemplo, cuando se plantea el problema de determinar el centro de la visión en el ojo humano: por más que parece aceptar, unas veces, la opinión aristotélica según la cual este centro se identifica con el cristalino sigue, en otras ocasiones, a Galeno el cual, pese a aceptar el papel central del cristalino, atribuye a la retina un papel de primera importancia en la transmisión de las impresiones visuales desde el objeto hasta el cerebro[108].

Mucho más interesante resulta la dinámica neoplatónica de Ibn Bāŷŷa. Las ideas de este autor fueron analizadas sobre la base de las citas que de él hacía Ibn Rušd[109] hasta el momento en que Pines[110] descubrió un manuscrito de la Biblioteca Bodleyana de Oxford que contenía un comentario de Ibn Bāŷŷa a la *Física* de Aristóteles así como una carta dirigida por el autor a su amigo Abū Ŷa^{c}far Yūsuf b. Ḥasday, un judío converso al Islam, en la que exponía su plan de trabajo en relación con la obra aristotélica. Sus fuentes, aparte de Aristóteles, parecen ser el comentario a la *Física* de Alejandro de Afrodisia (s. III) y las ideas de Juan Filópono (s. VI) que no conoce directamente sino a través de una refutación de la obra de este último realizada por al-Farābī. Distingue, al igual que Aristóteles, entre movimientos naturales y movimientos violentos y, en lo que respecta a estos últimos, considera dos factores que intervienen en su realización: una fuerza motriz activa similar a la *kinétiké dynamis* de Aristóteles pero matizada por la influencia de Juan Filópono, y una fatiga -- concepto utilizado ya por la dinámica neoplatónica--

[108] L. Gauthier, *Ibn Rochd (Averroès)*, París, 1948, 68-95 y 128-143. Sobre esta cuestión, enormemente polémica, cf. D.C. Lindberg, «Did Averroes discover retinal sensitivity», *Bulletin of the History of Medicine* (Baltimore) 49 (1975), 273-278 (reimpreso en *Studies in the History of Medieval Optics*. Variorum Reprints. Londres, 1983), en el que se cita la bibliografía pertinente. Cf. también, D.C. Lindberg, *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*, Chicago y Londres, 1976, pp. 52-56.

[109] E.A. Moody, «Galileo and Avempace», *Journal of the History of Ideas* 12 (1951), 163-193 y 375-422; E. Grant, «Aristotle, Philoponus, Avempace and Galileo's Pisan Dynamics», *Centaurus* 11 (1965), 79-95.

[110] S. Pines, «La dynamique d'Ibn Bājja», *Mélanges Alexandre Koyré* I (París, 1964), 442-468. Cf. también S. Pines, «Ibn Bājja», *D.S.B.* I, 408-410. El manuscrito en cuestión fue editado por ^{c}Alawī en *Rasā'il*.

que procede tanto del motor como de la resistencia que ofrece el móvil. Esta última (resistencia del móvil) puede anularse en el caso de que el móvil sea suficientemente pequeño como para no ejercer reacción alguna a la fuerza ejercida por el motor. En el caso de los movimientos naturales, Ibn Bāŷŷa no considera que exista una fatiga debida al móvil ni al motor y nuestro autor se plantea el problema del movimiento en un plano inclinado que considera un caso intermedio entre los movimientos violentos y los naturales: por una parte, en el plano inclinado el móvil no ofrece resistencia, razón por la cual no cabe hablar del tipo de fuerza motriz que da lugar a un movimiento violento; por otra, el móvil sufre una fatiga que es proporcional al ángulo comprendido entre el plano inclinado y la perpendicular a la horizontal trazada desde el punto de tangencia del móvil con el plano inclinado, o sea el complemento de la pendiente del mismo (cf. Fig. 40). La presencia de fatiga descarta el que podamos hablar, en este caso, del tipo de fuerza motriz que corresponde a los movimientos naturales.

El conocimiento incompleto que Ibn Bāŷŷa tenía de la obra de Juan Filópono explica el que este autor parezca desconocer la teoría del *impetus* que, como hemos visto, influye en la obra de al-Biṭrūŷī a fines del siglo XII. En efecto, cuando Ibn Bāŷŷa se plantea el problema del movimiento de los proyectiles, adopta una postura aristotélica y señala que el desplazamiento de una flecha lanzada por

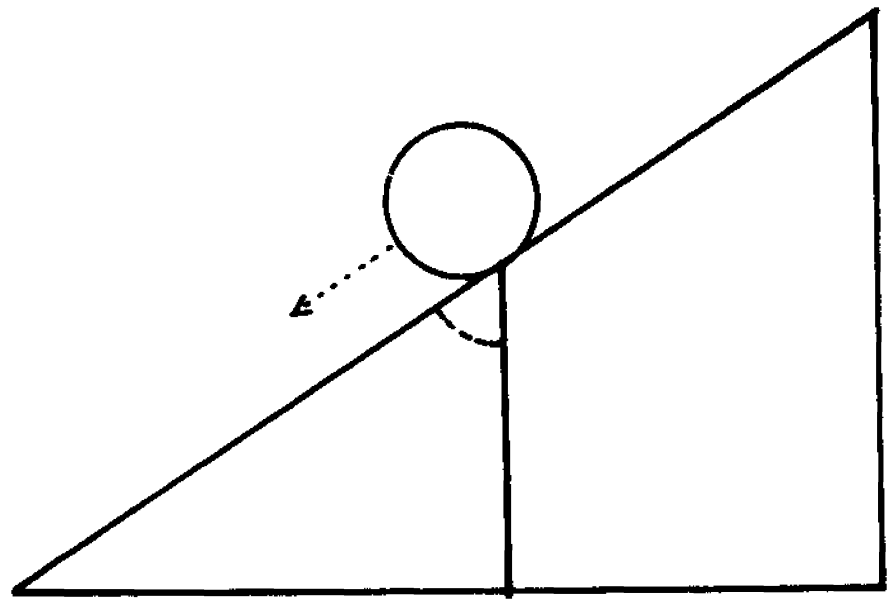


Fig. 40

Caída de un grave por un plano inclinado según Ibn Bāŷŷa.

un arco o de una piedra lanzada por la mano se debe a que son empujadas por las partículas de aire cuyo movimiento, en último término, se debe a que el aire ha sido empujado por la acción de la mano o del arco. Del mismo modo, el movimiento de un trozo de hierro que no está directamente en contacto con un imán se debe asimismo al aire o al medio interpuesto entre el imán y el hierro. Ahora bien, en el momento en el que Ibn Bāŷŷa se enfrenta al análisis del papel que ejerce el medio en los movimientos naturales como la caída de los graves, su análisis no tiene nada de aristotélico. Así, Aristóteles afirmaba que la velocidad de caída de un grave podía expresarse mediante la fórmula:

$$V = P / M$$

en la que V sería la velocidad de caída, P la fuerza motriz (peso) y M la resistencia del medio. Consecuencia de la expresión anterior es que, tal como señala Ibn Rušd, una plancha de madera de cien libras caerá con mayor velocidad en el aire que un trozo de plomo de una libra, mientras que lo contrario sucederá en el agua -- dada la mayor resistencia del medio -- en la que el plomo caerá más rápidamente que la madera[111]. Asimismo, cuando la resistencia del medio sea nula (movimiento en el vacío), la velocidad será infinita: lo absurdo de la conclusión anterior implica la imposibilidad del movimiento en el vacío.

Frente a la concepción de Aristóteles, Ibn Bāŷŷa seguirá a Juan Filópono en la formulación:

$$V = P - M$$

Gracias a esta fórmula sustractiva, la dinámica neoplatónica hará posible el movimiento de un cuerpo en el vacío ya que en el caso de que M (resistencia del medio) se anule, tendremos entonces $V = P$ y el cuerpo se moverá con su velocidad inicial, que es claramente finita. Por otra parte, parece claro que con esta noción nos aproximamos a una intuición del principio de inercia[112] y es interesante subrayar que, a la hora de argumentar acerca de la posibilidad del movimiento en el vacío, Avempace observa que el propio Aristóteles afirmaba que los cuerpos celestes no se mueven instantáneamente de un lugar a otro a pesar de desplazarse a través de un éter celestial

[111] Ibn Rušd, *Al-samā' wa-l-ᶜālam*, ed. Hyderabad, p. 74.

[112] E. Grant, «Motion in the Void and the Principle of Inertia in the Middle Ages», *Isis* 55 (1964), 265-292.

que no ofrece resistencia. Por consiguiente, distintas velocidades planetarias o estelares finitas podían tener lugar sin necesidad de que existiera un medio activamente resistente con lo que Avempace concluye que no sólo el medio resistente no es esencial para que haya movimiento sino que su única función es retrasarlo. Pensemos, asimismo, que Avempace ha partido de la caída de los graves y ha acabado razonando sobre la base de los movimientos estelares lo cual implica que -- al igual que Abū-l-Barakāt al-Bagdādī y que al-Biṭrūŷī (§ 5.3.4.2) -- nuestro autor está concibiendo una dinámica universal única aplicable tanto al mundo sublunar como al supralunar. Sólo llama la atención el que no haya aplicado su noción de que el medio resistente es innecesario para el movimiento a los movimientos violentos ya que, al seguir en este punto la doctrina aristotélica, está incurriendo en una clara contradicción.

Ibn Rušd expuso claramente las ideas de Ibn Bāŷŷa sobre la caída de los graves para refutarlas y esto explica la difusión que tuvieron en la Europa Latina pese a que la obra de Avempace no fue traducida. La nueva dinámica neoplatónica fue recogida por los grandes escolásticos del siglo XIII como Tomás de Aquino, Siger de Brabante, William de Ware y Duns Scoto pero cayó en el olvido en el siglo XIV y reapareció en el XVI en la obra de Giambattista Benedetti -- cuya dinámica es la de Avempace complementada con la teoría del *impetus* -- así como en la de Girolamo Borro. Estos dos últimos autores pueden haber sido la fuente directa de la dinámica defendida por Galileo en su etapa pisana (1589-1591) en la que defiende la fórmula sustractiva pero añade -- o toma de alguno de sus predecesores -- una precisión importante: P y M son los pesos específicos del cuerpo y del medio respectivamente. De ello se desprende una consecuencia inmediata: dos cuerpos de distinto volumen pero con idéntico peso específico caen a la misma velocidad, precisamente lo que se pretendía demostrar con el pretendido experimento galileano de la torre de Pisa.

5.5 LAS CIENCIAS APLICADAS.

5.5.1 GENERALIDADES.

Durante este período se cultivarán las ciencias aplicadas siguiendo líneas ya anunciadas durante el período taifa aunque destacará

aquí un notable desarrollo de la Medicina propiamente dicha, sobre la que apenas sabemos nada en el período anterior. En lo que respecta a la Botánica, Farmacología y Agronomía, el empuje y desarrollo de estas disciplinas ha sido tan grande que se siente el deseo de elaborar grandes síntesis que son llevadas a cabo por Ibn al-Bayṭār (1197-1248) y por Ibn al-ᶜAwwām.(fl. en la segunda mitad del siglo XII). En cambio, si en la etapa anterior hemos visto apuntar un interés por la Alquimia (*Ruṭbat al-ḥakīm*), la Magia Talismánica (*Gāyat al-ḥakīm = Picatrix*) y la Tecnología Mecánica (*Kitāb al-asrār* de al-Murādī), casi nada sabemos sobre estas disciplinas durante los períodos almorávide y almohade y sólo cabe mencionar la figura del alquimista Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. Mūsà b. Arfaᶜ Ra'sa-hu denominado al-Ŷayyānī (de Jaén) pero también al-Garnāṭī (de Granada), del que sabemos que murió en Fez en 1197 y que compiló un libro de poemas sobre la piedra filosofal denominado *Dīwān šuḏūr al-ḏahab fī fann al-salamāt* que fue bien conocido en Oriente ya que, en el siglo XIV, ᶜAlī b. Aydamur al-Ŷildakī (fl. en El Cairo y Damasco c. 1339-1342) escribe tres comentarios al *Dīwān* y considera que Ibn Arfaᶜ Ra'sa-hu es una de las siete autoridades básicas, en materia de Alquimia, a lo largo de toda la Edad Media Islámica[113].

5.5.2 BOTANICA Y FARMACOLOGIA.

Como cabría esperar, continuará en esta etapa el entusiasmo de los médicos por el estudio de la Botánica aplicada a la Farmacología. Los nombres a citar son numerosos: desde el *Botánico Anónimo*— obra de transición entre la etapa taifa y la de la dominación almorávide — hasta Ibn al-Bayṭār (1197-1248) — con el que ya entramos en el período nazarí — apenas existe autor médico conocido que no redacte un tratado de simples o sobre medicamentos compuestos tal como hacen Abū-l-ᶜAlā' Zuhr (c. 1060- 1131) y su hijo Abū Marwān ᶜAbd al-Malik b. Zuhr (c. 1091-1162), Abū Ŷaᶜfar Aḥmad b. Muḥammad al-Gāfiqī (m. a mediados del s. XII), Maimónides (1135-1204) y Abū-l-ᶜAbbās al-Nabatī conocido como Ibn al-Rūmiyya (c. 1166-1240). A estos nombres hay que añadir los de polígrafos como Abū-l-Ṣalt

[113] G. Sarton, *Introduction to the History of Science* II (Baltimore, 1931), 408; III (Baltimore, 1947), 758-760.

Umayya (c. 1067-1134), de cuya obra astronómica me he ocupado en § 5.2.1, geógrafos como el célebre al-Idrīsī (1101-1165) y filósofos como Ibn Bāŷŷa (¿1070?-1138) e Ibn Rušd (1126-1198)[114]

Al igual que en el período anterior, está presente en esta etapa la continuidad con la tradición representada, en el siglo X, por Ibn Ŷulŷul (cf. § 2.6) cuyos ecos han llegado ampliamente al Norte de Africa. Ibn al-Rūmiyya estudia con Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Ṣāliḥ al-Ḥarīrī al-Šaŷŷār, en su botica de la ciudad de Marrākuš, tres obras fundamentales: la *Materia Médica* de Dioscórides y los dos libros de Ibn Ŷulŷul sobre la explicación de los nombres de los simples en la obra anterior y sobre los simples que no mencionó Dioscórides. Ibn al-Rūmiyya escribirá un tratado, que al igual que el de Ibn Ŷulŷul, llevará el título de *Tafsīr asmā' al-adwiya al-mufrada min kitāb Diyusqūrīdis* («Explicación de los nombres de los simples en el libro de D.») y, en su prólogo, expone el método de enseñanza utilizado por su maestro Ibn Ṣāliḥ: lectura y comentario de Dioscórides e Ibn Ŷulŷul con rectificaciones y adiciones pero salvaguardando siempre el prestigio del maestro griego. El plan de trabajo que se propone Ibn al-Rūmiyya en su *Tafsīr* es bastante representativo de la época ya que pretende: a) resumir a Dioscórides; b) añadir lo aportado por Ibn Ŷulŷul; c) añadir lo que le enseñó Ibn Ṣāliḥ y d) añadir datos propios[115]. Se trata, pues, de un saber básicamente acumulativo en el que el punto de partida es, como siempre, la explicación de los nombres de las plantas y la sinonimia en las distintas lenguas. Maimónides escribirá, por ejemplo, un *Šarḥ asmā' al-ᶜuqqār* («Explicación de los nombres de las drogas») que constituye un glosario alfabético de tales nombres y de sus sinónimos en griego, siriaco, persa, beréber, romance de al-Andalus y dialectos del Magrib y Egipto (*no* en hebreo)[116]. Lo anterior constituye, prácticamente, una constante en la mayoría de los botanistas de esta época como el

[114] El único tratamiento de conjunto del tema sigue siendo el de M. Meyerhof, «Esquisse d'histoire de la Pharmacologie et Botanique chez les musulmans d'Espagne», *Al-Andalus* 3 (1935), 1-41 (cf. especialmente pp. 15-33). Una puesta al día bibliográfica se encontrará en C. Peña, A. Díaz, C. Alvarez de Morales, F. Girón, R. Kühne, C. Vázquez, A. Labarta, «Corpus medicorum arabico-hispanorum», *Awrāq* 4 (1981), 79-111.

[115] A. Dietrich, «Quelques observations sur la Matière Médicale de Dioscoride parmi les arabes», *Oriente e Occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 1971, pp. 375-390.

[116] M. Meyerhof, «Un glossaire de matière médicale de Maimonide», *Mémoires présentées à l'Institut d'Egypte* vol. 41, El Cairo, 1940.

autor anónimo[117] (fines del siglo XI - principios del XII) de la *ᶜUmdat al-ṭabīb fī maᶜrifat al-nabāt li-kull labīb* («Sostén del médico para el conocimiento de las plantas, utilizable por cualquier persona inteligente») en el que los nombres de las plantas aparecen también por orden alfabético acompañados por la sinonimia habitual: Dubler[118] llamó la atención sobre los conocimientos de griego que su autor parece poseer (distingue claramente entre el griego clásico y el bizantino y transcribe las voces griegas con toda pulcritud) y el propio texto recoge referencias a Bizancio[119].

El saber recogido en estos libros de Botánica no es únicamente libresco sino que sus autores han continuado herborizando y recogiendo toda la información posible sobre las plantas de al-Andalus y de otros países. El caso del autor de la *ᶜUmda* es claro ya que en él, confluye la tradición farmacológica de Ibn Ŷulŷul con la agronómica representada, en el período anterior, por Ibn Baṣṣāl (al que conoció en Sevilla) y por Ibn al-Luengo (m. 1104-1105), que fue su maestro: en su obra aparecen contínuas referencias a sus herborizaciones personales realizadas en Andalucía, Sur de Portugal y Norte de Marruecos, así como a sus ensayos de aclimatación de plantas que lleva a cabo en el Jardín del Sultán y en su propio huerto personal (las noticias sobre plantas procedentes de otros países las obtiene a base de informadores). Algo similar puede decirse de Ibn al-Rūmiyya cuyo *Tafsīr* revela un botanista interesado, sobre todo, por el estudio directo de las plantas más que por un saber libresco basado en Dioscórides: su obra tiene, a este respecto, el interés particular de haber sido llevada a cabo por un autor que, en 1217, emprendió un gran viaje a Oriente y escribió un relato del mismo (*Riḥla*) que no conservamos pero que Ibn al-Bayṭār cita profusamente. Ibn al-Rū-

[117] G.S. Colin («Filāḥa» en *Encyclopédie de l'Islam* II, Leiden-Paris, 1965, pp. 922-923) sugiere una posible identificación del autor con un Ibn ᶜAbdūn que formó parte de la embajada sevillana que se dirigió a la corte almohade de Marrākuš en 1147 y que habría compuesto la *ᶜUmda* después de esta fecha. Podría tratarse de Muḥammad b. Aḥmad b. ᶜAbdūn, autor de un famoso tratado de *ḥisba*. Por otra parte he mencionado ya (§ 4.5.2.2) la reciente hipótesis de M. ᶜA. al-Jaṭṭābī quien identifica el Botánico Anónimo con el agrónomo Abū-l-Jayr de Sevilla: cf. su edición crítica *ᶜUmdat al-ṭabīb fī maᶜrifat al-nabāt li-Abī-l-Jayr al-Išbīlī* en dos volúmenes, Rabat, 1990.

[118] En *Al-Andalus* 10 (1945), 250-252.

[119] M. Asín Palacios, *Glosario de voces romances registradas por un botánico anónimo hispano-musulmán (siglos XI-XII)*, Madrid-Granada, 1943, p. XIX.

miyya nos habla de las plantas que ha conocido en al-Andalus, Marruecos, Túnez, Tripolitania, Egipto, Siria, Iraq, el Ḥiŷāz y Sicilia y da noticias absolutamente desconocidas en su época[120].

Igualmente Aḥmad b. Muḥammad al-Gāfiqī añadió a los materiales recibidos gran cantidad de observaciones originales sobre la flora de la Península. No obstante, con este autor, al que Meyerhof considera el mayor farmacólogo y botanista de entre los médicos de la Edad Media Islámica[121] — aunque esta opinión deba, hoy, considerarse exagerada[122] -- se consolida definitivamente la tendencia enciclopedista que aparece ya en los orígenes de la escuela farmacológica andalusí y cuyo máximo exponente será Ibn al-Bayṭār. Desgraciadamente conocemos mal la obra de al-Gāfiqī que está documentada por manuscritos incompletos -- alguno de ellos copiado en Bagdad en la primera mitad del siglo XIII (poco antes de la destrucción de la ciudad por los mongoles) y provisto de ilustraciones que se parecen poco a las del Dioscórides árabe[123] --, por más de doscientas citas de este autor que se encuentran en la enciclopedia farmacológica de Ibn al-Bayṭār, y por un resumen realizado por el obispo jacobita oriental Gregorio Abū-l-Faraŷ Barhebraeus (1225-1286)[124] que, según Meyerhof, conserva lo más esencial de la obra aunque suprime todo aquello que carece de utilidad en Oriente como las citas griegas, pasajes sobre nombres romances o latinos de drogas, repeticiones etc. En conjunto, la obra de al-Gāfiqī constituye una gran enciclopedia del saber farmacológico en la que, a las alusiones a experiencias propias, se añade un enorme mosaico de citas de Dioscórides y Galeno y de autores musulmanes en torno a la descripción y propie-

120 Meyerhof, «Esquisse d'histoire», pp. 28-29.

121 Meyerhof, «Esquisse d'histoire» p. 17.

122 Cf. A. Dietrich, «al-Ghāfiḳī». *Encyclopédie de l'Islam. Supplément, livr. 5-6* (Leiden-París, 1982), 313-314; S.K. Hamarneh, «The Pharmacy and *Materia Medica* of al-Biruni and al-Ghafiqi. A Comparison», *Pharmacy in History* 18 (1976), 3-12 (reimpresión en *Health Sciences in Early Islam* II (Blanco, Texas, 1984), 99-115).

123 M. Meyerhof, «Etudes de pharmacologie arabe tirées de manuscrits inédits. III. Deux manuscrits illustrés du Livre des simples d'Aḥmad al-Ghāfiqī», *Bulletin de l'Institut d'Egypte* 23 (1940-41), 13-29.

124 Parcialmente editado por M. Meyerhof, *The abridged version of "The book of simple drugs" of Ahmad ibn Muhammad al-Ghâfiqî by Gregorius Abu'-l-Farag (Barhebraeus).* 4 fascículos (El Cairo, 1932-1940) que contienen las letras *alif, bā', ŷīm, dāl, hā'* y *wāw*.

dades de cada simple. Una lista de las autoridades islámicas citadas incluiría, entre otros, a Māsarŷawayh y Bajtišū b. Ŷūrŷīs del siglo VIII; ᶜAlī b. Rabbān al-Ṭabarī, Ḥunayn b. Isḥāq, Ḥubayš b. al-Ḥasan, Isḥāq b. ᶜImrān, Isḥāq b. Sulaymān al-Isrā'ilī, al-Kindī, *Filāḥa Rūmiyya*, Ibn Waḥšiyya y Abū Ḥanīfa al-Dīnawarī (todos ellos del s. IX); al-Rāzī, Abū-l-ᶜAbbās al-Maŷūsī, Ibn al-Ŷazzār, Ibn Ŷulŷul, Ibn Samaŷūn y Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (s. X); Avicena, Ibn Gazla, Ibn Riḍwān, Ibn Wāfid y al-Bakrī (s. XI).

La tendencia enciclopédica, que hemos visto claramente plasmada en al-Gāfiqī, llegará a su culminación en la obra del farmacólogo malagueño Abū Muḥammad ᶜAbd Allāh b. Aḥmad Ibn al-Bayṭār (c. 1190–1248), con el que se cierra cronológicamente esta etapa y es uno de los personajes que, en esta fase de la historia andalusí, emprendieron un viaje a Oriente que resultó ser una emigración definitiva. Tras haber estudiado en Sevilla, salió de al-Andalus hacia 1220, cruzó el Norte de Africa, visitó el Asia Menor y Siria y acabó instalándose en Egipto, donde entró al servicio del sultán ayyubí al-Malik al-Kāmil y, más tarde, al de su sucesor al-Ṣāliḥ. Desde Egipto emprendió viajes esporádicos, de carácter científico y acompañado por sus discípulos, por Arabia, Palestina, Siria e Iraq, pero su base de actuación fue El Cairo, en donde debió escribir sus obras fundamentales, y dedicó a al-Ṣāliḥ su *al-Mugnī fī-l-adwiya al-mufrada*—tratado sobre los simples que son aplicables a cada enfermedad ordenado, a la manera tradicional, siguiendo el cuerpo humano desde la cabeza hasta los pies — y el *al-Ŷāmiᶜ li-mufradāt al-adwiya wa-l-aġḏiya*, su gran obra farmacológica en la que, por orden alfabético, describe 1400 simples pertenecientes a los reinos animal, vegetal y mineral, y cita a más de 150 autoridades que, en buena parte, son las mismas ya mencionadas por al-Gāfiqī[125]. Parte de las citas corresponden a la tradición farmacológica andalusí[126] y sus dos grandes mentores son, sin duda Ibn al-Rūmiyya y al-Gāfiqī: el primero de ellos fue maestro suyo y sabemos por otra parte, gracias a Ibn Abī Uṣaybiᶜa, que el gran farmacólogo malagueño llevaba siempre consigo

[125] Como introducciones generales a la obra de Ibn al-Bayṭār cf. los artículos de J. Vernet en *Encyclopédie de l'Islam* III (Leiden-Paris, 1971), 759–760 y en el *D.S.B.* I (Nueva York, 1970), 538–539.

[126] M.P. Torres, «Autores y plantas andalusíes en el "Kitāb al-Ŷāmiᶜ" de Ibn al-Bayṭār», *Actas del XII Congreso de la U.E.A.I. (Málaga, 1984)*, Madrid, 1986, pp. 697–712.

en sus viajes científicos -- entre otras obras -- el *Kitāb al-adwiya al-mufrada* de al-Gāfiqī. La influencia de Ibn al-Rūmiyya explica, por ejemplo, el que Ibn al-Bayṭār suprimiera, en su obra, los contenidos del libro V de la obra de Dioscórides que tratan de fármacos no vegetales: el descubrimiento de un manuscrito del *Tafsīr* de Ibn al-Rūmiyya ha permitido constatar que este autor, más botanista que farmacólogo, había omitido ya estos materiales. Ambos constituyeron la fuente básica de la obra de Ibn al-Bayṭār aunque, probablemente, haya que suavizar un tanto las opiniones de Meyerhof sobre la copia sistemática realizada por este último del *Kitāb* de al-Gāfiqī. En cualquier caso, el *Ŷāmiᶜ* constituye, sin duda, una obra importantísima dentro de la historia de la Botánica y de la Farmacología andalusí y, aunque no se difundió por la Europa Latina[127], sí conoció una enorme fama en Oriente (se conservan unos 90 manuscritos de la misma)[128] y sus informaciones -- sobre el cáñamo indio -- fueron utilizadas por los juristas para fundamentar su prohibición del hachís[129].

La labor de observación y catalogación de nuevas plantas y el espíritu enciclopédico que aspiraba a compilar las grandes síntesis que sustituyeran la *Materia Médica* de Dioscórides no constituyen los únicos centros de interés de la botánica y farmacología andalusí de la época almorávide y almohade. Existe, asimismo, un notable espíritu teórico que se manifiesta en la *ᶜUmda*, obra que no es exclusivamente farmacológica ya que recoge descripciones de todas las plantas--sean medicinales o no -- y en la cual aparece el primer intento conocido de clasificación taxonómica de los vegetales en el que se abandona la clasificación habitual -- utilizada por Aristóteles, Teofrasto, Dioscórides, Galeno etc. -- en árboles, arbustos y hierbas. La *ᶜUmda* clasifica los vegetales según su género (*ŷins*), especie (*nawᶜ*) y variedad o clase (*ṣanf*). Los géneros, por otra parte, se clasifican en árboles en general, árboles grandes, árboles pequeños o arbustos, plantas vivaces (*ŷanba*) y hierbas (*baql* o *ᶜušba*). Las especies se

[127] La utiliza, en cambio, el médico armenio Amir Dowlat en el siglo XV: C.E. Dubler, «Ibn al-Bayṭār en armenio», *Al-Andalus* 21 (1956), 125-130.

[128] No existe ninguna edición crítica del original árabe pero sí una buena traducción francesa de L. Leclerc, «Traité des simples par Ibn el-Beithar», *Notices et Extraits des Manuscrits de la Bibliothèque Nationale*, vols. XXIII-1 (París, 1877), XXV-1 (París, 1881), XXVI-1 (París, 1883).

[129] I. Lozano, «Acerca de una noticia sobre el *qinnab* en el *Ŷāmiᶜ* de Ibn al-Bayṭār», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 151-162.

clasifican según la forma del tallo (rastrero, trepador, arundineo, junceo, espinoso, umbelífero), la forma de las hojas (semejantes a la lengua, la palma de una mano, una espada etc.) y la forma e índole de los frutos (granos, bulbos). En la *ᶜUmda* aparecen asimismo atisbos del concepto moderno de familia botánica y se mencionan las plantas aromáticas, laticíferas, ajedreas etc. El sistema de la *ᶜUmda* fue conocido en Marruecos en el siglo XVI ya que lo utiliza el médico al-Gassānī y constituye un claro precedente del moderno sistema de clasificación inventado por Cuvier (1769-1832) cuyo único predecesor directo sería Cesalpino (1519-1603)[130].

Este interés por la clasificación de las plantas -- cuyos antecedentes hemos visto ya en los agrónomos del siglo XI (§ 4.5.4) -- se encuentra también en otros autores como el filósofo y físico Ibn Bāŷŷa, aunque los criterios que aplica resultan mucho más rudimentarios[131]. Parece que nuestro Avempace fue competente como farmacólogo y, en colaboración con Abū-l-Ḥasan Sufyān al-Andalusí, escribió un *Kitāb al-taŷribatayn ᶜalà adwiyat Ibn Wāfid* («Libro de las dos experiencias sobre los medicamentos de Ibn Wāfid»), así como un discurso sobre parte del tratado de simples de Galeno. Ninguna de estas dos obras se ha conservado pero la primera es ampliamente citada por Ibn al-Bayṭār. Conocemos, en cambio, un opúsculo titulado *Kalām fī-l-nabāt* («Discurso sobre las plantas»), editado y traducido por Asín, en el que la aproximación al tema es puramente teórica y las únicas autoridades citadas son dos tratados seudo-aristotélicos denominados *De plantis*, así como la *Historia Animalium* de Aristóteles. Es en este opúsculo en el que aparecen sus conatos de clasificación de los vegetales recurriendo a criterios muy dispares así como planteamientos de carácter muy general como la diferencia entre vegetal y animal que basa en la falta de movimientos de traslación, así como también de sensibilidad y apetito, en el caso de las plantas. Reconoce, en cambio, que estas últimas son capaces de realizar movimientos locales -- describe con cuidado las plantas acuáticas como el nenúfar cuya flor se abre y cierra a lo largo de las distintas horas del día -- que atribuye a la humedad del aire y del agua y al calor del sol. Se plantea asimismo el problema de la sexualidad de las plantas -- negada totalmente por Aristóteles -- y, aunque su

[130] Asín, *Botánico Anónimo* pp. XXIV-XXVI.

[131] M. Asín Palacios, «Avempace botánico», *Al-Andalus* 5 (1940), 255-299.

postura no está del todo clara, reconoce la existencia de macho y hembra en las palmeras y algunas higueras: recuérdese que referencias de esta índole aparecen ya en el *Calendario de Córdoba* y en agrónomos andalusíes del siglo XI por influencia de la *Agricultura Nabatea* (§ 4.5.3).

Un tercer planteamiento de carácter teórico afecta al problema de determinación del grado galénico de un compuesto en función del grado de los simples que entran en él. Se trata de un tema que ya había abordado, en el siglo anterior, Ibn Buklāriš (§ 4.4) el cual siguió las teorías de al-Kindī. Ya en la etapa almorávide tenemos el caso de Abū-l-ᶜAlā' Zuhr que escribió un tratado, perdido, sobre el libro de al-Kindī y, dadas las relaciones de íntima amistad que existieron entre Ibn Rušd y Abū Marwān b. Zuhr - hijo de Abū-l-ᶜAlā'-, es posible que Ibn Rušd conociera las doctrinas de al-Kindī a través del comentario del padre de su amigo. En cualquier caso las critica y resuelve el problema de forma distinta que sería la siguiente: si tenemos una cantidad x de un simple A que es cálido en un grado n y la mezclamos con una cantidad y de un simple B que es frío en un grado m y suponemos que $n > m$, el compuesto resultante será cálido en un grado evidentemente inferior a n: la cuantía a reducir de n será el resultado de multiplicar m por la proporción y/x. Es decir que:

$$x\ (n^o\ de\ Calor) + y\ (m^o\ de\ Frío) \dashrightarrow (n - y/x\ m)^o\ de\ Calor$$

El tratamiento del tema por parte de Ibn Rušd aparece en el libro V de su gran enciclopedia médica, el *Kitāb al-kulliyyāt fī-l-ṭibb*[132], en el que se ocupa de alimentos y fármacos, y no resulta demasiado claro[133]. Esto explica el que, a partir de la gran difusión europea de la obra gracias a la traducción latina realizada en 1285 por el judío Bonacosa, se diera una interpretación abusiva de la doctrina de Averroes y se afirmara que, frente a la doctrina de al-Kindī según la cual las «partes» de una determinada cualidad (cálido-frío, húmedo-seco) que tiene un determinado simple crecen en progresión geométrica (1 - 2 - 4 - 8 - 16) a medida que el grado

[132] Hay edición crítica de J.M. Fórneas Besteiro y C. Alvarez de Morales, Madrid, 1987.

[133] Cf. el estudio básico de M.R. McVaugh, *Arnaldi de Villanova Opera Medica Omnia. II. Aphorismi de Gradibus*, Granada-Barcelona, 1975, pp. 61-74.

crece en progresión aritmética (templado, 1º, 2º, 3º, 4º grados), Averroes habría afirmado que el crecimiento de las «partes» se produce también siguiendo una progresión aritmética (1 - 2 - 3 - 4- 5), de acuerdo con el siguiente esquema:

	Partes de calor	*Partes de frío*
Templado	1	1
Cálido 1er grado	2	1
Cálido 2º grado	3	1
Cálido 3er grado	4	1
Cálido 4º grado	5	1

El esquema anterior no se justifica a partir de los textos de las *Kulliyyāt* de Averroes pero le fue atribuido sin discusión a partir del *De gradibus* de Arnau de Vilanova (escrito entre 1290 y 1300) y la cuestión sólo parece clara desde 1975 gracias al trabajo de Michael McVaugh.

5.5.3 MEDICINA.

5.5.3.1 *Generalidades: la Oftalmología.*

La etapa almorávide-almohade es, sin duda, el Siglo de Oro de la medicina andalusí[134] y recupera una tradición brillante que, tras el esplendor de una figura como la de Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī en el siglo X, parecía haberse perdido en la época taifa. Las grandes figuras son, ahora, los miembros de la familia de los Banū Zuhr entre los que destacan Abū-l-ᶜAlā' Zuhr (m. 1131), su hijo Abū Marwān ᶜAbd al-Malik b. Zuhr (c. 1091-1161) y su nieto Abū Bakr b. Zuhr (1113-1199)[135]. A estos hay que añadir los filósofos-médicos como Ibn Rušd (1126-1198) y Maimónides (1135-1204) para los cuales el estudio y la práctica de la medicina tiene un carácter, en cierto

[134] Cf. una visión de conjunto en M. Castells, «La medicina en al-Andalus», L.C.A. pp. 137-139.

[135] Sobre esta familia cf. el excelente artículo de R. Arnaldez, «Ibn Zuhr», *Encyclopédie de l'Islam* III (Leyden-París, 1971), 1001-1003.

modo, marginal y se inserta en una actividad intelectual mucho más amplia.

Hay que señalar, por otra parte, la aparición de los dos primeros textos oftalmólogicos andalusíes conservados: se trata de los manuales escritos por Muḥammad b. Qassūm b. Aslam al-Gāfiqī y por el toledano Sulaymān b. Ḥārit al-Qūṭī (?), ambos del siglo XII. Nada conocemos sobre la biografía de ambos autores, salvo que el primero — que nada tiene que ver con el farmacólogo del mismo nombre (§ 5.5.2) parece haber vivido en Córdoba en donde debió escribir su *Kitāb al-muršid fī-l-kuḥl* («Guía de la Oculística»)[136], mientras que en lo que respecta al segundo no tenemos seguridad ni siquiera de la grafía correcta de su nombre ya que sólo están documentadas, en las versiones latina[137] y catalana[138], las formas *Salomo filius Arit Alcoatin* (*Alcoati* en la versión catalana) y *Alcoatin Salomonis filius*, ya que sólo conservamos el quinto libro del original árabe en el que no se cita el nombre de su autor[139]. La versión latina indica, por otra parte, que esta obra fue iniciada en Toledo en 1159 reinando Alfonso [VIII] y terminada en Sevilla a donde se trasladó su autor en 1160, atraido por la munificencia del *Miramamino* (*Amīr al-mu'minīn*) *Yucef Aven Texet/ Cexefre* (tal vez el sultán almohade Abū Yaᶜqūb Yūsuf, que había subido al trono en 1152). A todo lo anterior debe añadirse que tanto la versión latina como la catalana afirman que el autor de este tratado de oftalmología era cristiano, lo que fue rechazado por Millás[140] a quien llamó la atención el que un mozárabe toledano se trasladara a Sevilla en una etapa en la que los almohades estaban llevando a cabo una política represiva con los cristianos

[136] M. Meyerhof, *Al-Morchid fi'l-Kohl. Le Guide d'Oculistique. Ouvrage inédit de l'oculiste arabe-espagnol Mohammad ibn Qassoûm ibn Aslam al-Ghâfiqî (XII^e siècle). Traduction des parties ophtalmologiques d'après le manuscrit conservé à la bibliothèque de L'Escurial*. Masnou, Barcelona, 1933.

[137] P. Pansier, *Congregatio sive Liber de Oculis quem compilavit Alcoatin, christianus toletanus, anno dominicae Incarnationis MCLIX*. Paris, 1903.

[138] Ll. Deztany y J.M. Simon de Guilleuma, *Alcoatí. Libre de la figura del uyl. Text català traduït de l'àrab per Mestre Joan Jacme i conservat en un manuscrit del XIV^n segle a la Biblioteca Capitular de la Seu de Saragossa*. Barcelona, 1933.

[139] M.C. Vázquez de Benito, *La "Quinta Maqāla" del Tratado de Oftalmología de Alcoati*, Salamanca, 1973 (incluye la edición de los textos árabe y latino y la traducción castellana de esta quinta *maqāla*).

[140] J.M. Millás, «Sobre el oftalmólogo hispanoárabe Alcoatí», *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española*, Barcelona, 1960, pp. 211-219.

y judíos. Para Millás, nuestro Sulaymān b. Ḥārit̲ era un musulmán y esto parece adquirir una cierta confirmación (?) en las fórmulas rituales que aparecen al principio y al fin del quinto libro de su obra cuyo original árabe se ha conservado. En cualquier caso, resulta excepcional el que nos encontremos ante un oftalmólogo musulmán que ejerce su profesión y la enseña en el Toledo cristiano y no se desplaza a Sevilla hasta la segunda mitad del siglo XII. Esta noticia tiene un interés mayor que la obra misma de Sulaymān b. Ḥārit̲: tanto ésta como el *Muršid* de al-Gāfiqī son dos manuales de Oftalmología de escasa originalidad pero que revelan, por parte de sus autores, un buen conocimiento de la bibliografía oriental sobre el tema, así como de la obra quirúrgica de Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (§ 2.6.2): ambos insisten en el aspecto quirúrgico de su disciplina, ilustran sus obras con dibujos de instrumentos quirúrgicos y describen detalladamente, por ejemplo, la técnica tradicional de la intervención de las cataratas a la que Sulaymān b. Ḥārit̲ añade una referencia libresca -- confiesa que nunca la ha visto poner en práctica -- a la técnica helenística de la extracción de la catarata por succión.

5.5.3.2 *La medicina práctica de ᶜAbd al-Malik b. Zuhr.*

En lo que respecta a la familia de los Banū Zuhr hay que señalar que sólo el padre de Abū-l-ᶜAlā' Zuhr que se llamaba, igual que su nieto, Abū Marwān ᶜAbd al-Malik (m. c. 1078) estudió medicina en Oriente (concretamente en El Cairo), regresando más tarde a al-Andalus en donde estuvo al servicio de al-Muŷāhid, en la taifa de Denia. En lo que respecta a los restantes miembros de la dinastía, realizaron sus estudios médicos con sus progenitores respectivos y se pusieron al servicio de monarcas como médicos de corte: Abū-l-ᶜAlā' Zuhr, figura de transición entre los períodos taifa y almorávide, sirvió a al-Muᶜtamid de Sevilla (m. 1095), quien llegó a llamarle a su lado, con motivo de una enfermedad de su esposa, cuando se encontraba desterrado en Āgmāt[141]. Tras los ᶜabbādíes, Abū-l-ᶜAlā' entró al servicio de los almorávides y el cargo de médico de corte fue

[141] R. Kühne, «Aportaciones para esclarecer alguno de los puntos oscuros en la biografía de Avenzoar», *Actas del XII Congreso de la U.E.A.I. (Málaga, 1984)*, Madrid, 1986, pp. 431-446.

heredado por su hijo Abū Marwān quien, como su padre, tuvo que cruzar varias veces el Estrecho debido a sus obligaciones profesionales. Tras haber tenido dificultades con ᶜAlī b. Yūsuf b. Tāšufīn (1106-1143), lo que motivó su encarcelamiento[142] desde antes de 1131 hasta después de 1140, acabó su vida (1161) al servicio del califa almohade ᶜAbd al-Mu'min (1130-1163). Del mismo modo, su hijo Abū Bakr fue médico personal de Yaᶜqūb al-Manṣūr (1184-1199).

Si existe un rasgo común a la obra médica de los Banū Zuhr, éste es, sin duda, su carácter eminentemente práctico. Abū-l-ᶜAlā' tenía fama de excelente clínico capaz de establecer un diagnóstico acertado sin necesidad de interrogar a los pacientes y recurriendo sólo al examen de la orina y del pulso y su *Taḏkira*[143] muestra su carácter eminentemente prudente en el uso de los fármacos para el tratamiento de sus pacientes, así como su seria formación teórica que le hace interesarse — como hemos visto — por el problema de la graduación de los medicamentos compuestos. El mismo espíritu preside la obra escrita de Abū Marwān[144] — el célebre Avenzoar de los traductores latinos — en la que cabe destacar el *Kitāb al-iqtiṣād fī iṣlāḥ al-anfus wa-l-aŷsād* («Libro del justo medio sobre la reparación de los cuerpos y de las almas»)[145], el *Kitāb al-taysīr fī-l-mudāwā wa-l-tadbīr* («Libro en el que se simplifica el tratamiento medicamentoso y la dieta»)[146] y el *Kitāb al-Ŷāmiᶜ fī-l-ašriba wa-l-maᶜāŷin* («Recetario de jarabes y electuarios»)[147]. Las tres obras mencionadas parecen caracterizarse por ser libros de encargo o destinados a su uso en la corte. Así, el *Iqtiṣād* está constituido por un conjunto de textos, de dimensiones aproximadamente iguales, destinados a ser leidos ante el príncipe almorávide Ibrāhīm, goberna-

[142] Por causas oscuras sobre las cuales pueden verse las interesantes hipótesis de R. Kühne en el artículo citado.

[143] G.S. Colin, *La Tedhkira d'Aboul ᶜAlā'*, París, 1911.

[144] Como introducción general a su vida y obra cf. M. ᶜA. al-Jaṭṭābī, *Al-Ṭibb wa-l-aṭibbā' fī-l-Andalus*, Beirut, 1988, I, pp. 277-317.

[145] Cf. R. Kühne, *El Kitāb al-iqtiṣād de Avenzoar según el manuscrito nº 834 de la Biblioteca del Real Monasterio de El Escorial*. Resumen de tesis doctoral en la Universidad Complutense. Madrid, 1971.

[146] Ed. M. Jūrī, Damasco, 1983.

[147] F. Girón, *La medicina práctica en la España Arabe del siglo XII: el "Kitāb al-Ŷāmiᶜ [...]" de Abū Marwān ᶜAbd al-Malik ibn Zuhr (Avenzoar). Edición, traducción y comentarios*. Resumen de tesis doctoral. Universidad de Granada, 1978.

dor de Sevilla e hijo de Yūsuf b. Tāšufīn, a quien Abū Marwān fue presentado en 1121-22. Se trata, pues, de una obra de juventud y tiene carácter divulgatorio estando constituido, en buena parte, por un tratado de cosmética (*zīna*), término que debe entenderse como el conjunto de conocimientos que permiten la conservación y el embellecimiento de las partes externas del cuerpo por lo que, además de la cosmética propiamente dicha, se ocupa de cirugía y medicina estética (rectificaciones nasales, regulación del crecimiento de los dientes, perforación del lóbulo de la oreja para llevar adornos etc.), de higiene y, particularmente, de higiene sexual (empleo de afrodisíacos y antiafrodisíacos, fecundantes y anticonceptivos)[148]. Esta parte de la obra debía ser la dedicada a los contertulios del príncipe Ibrāhīm pero a ella se añade la parte propiamente médica, una especie de prontuario destinado al médico formado en las teorías hipocrático-galénicas con el fin de que lo tuviera a mano y pudiera evitar la consulta contínua de las fuentes. Esta parte del *Kitāb al-Iqtiṣād* sigue el orden tradicional, *de capite ad calcem*, y, tras pasar revista a las enfermedades que afectan a los distintos órganos del cuerpo, se ocupa a continuación de las enfermedades generales de todo el cuerpo, comenzando por las de la piel. A todo lo anterior se añade un estudio de las fiebres, con capítulos sobre las crisis y días críticos así como unas notas sobre las enfermedades de los órganos internos. Las exposiciones de Ibn Zuhr van siempre acompañadas con relatos de casos clínicos que corresponden tanto a su propia experiencia como a la de otros miembros de su familia.

Si el *Kitāb al-Iqtiṣād* fue redactado cuando Ibn Zuhr contaba unos treinta años, el *Taysīr*, en cambio, es obra de madurez que, sin duda, fue compuesto después del asedio de Marrākuš por los almorávides (1146-1147) del que el autor debió ser testigo presencial ya que alude, en este libro, al hambre y a las epidemias que tuvieron que sufrir los sitiados. Corresponde, también, al período almohade en el que debió redactar asimismo su tratado de dietética (*Kitāb al-aḡḏiya*), escrito de manera precipitada, por mandato del califa ᶜAbd al-Mu'min (1130-1163), sin salir de Marrākuš y con escasa bibliografía en que basarse. Un encargo real debió constituir, asimismo, el origen

[148] R. Kühne, *El Kitāb al-Iqtiṣād* pp. 16-18 identifica esta obra con el tratado de cosmética (*Kitāb al-zīna*) que el propio Ibn Zuhr menciona en el prólogo de su *Kitāb al-taysīr* y que es citado asimismo por Ibn Abī Uṣaybiᶜa.

del *Taysīr*, obra que aparece mencionada por Ibn Rušd en su *Kitāb al-Kulliyyāt*[149], quien lo considera el mejor de los *kunnāš* (tratados de terapéutica concebidos con una mentalidad esencialmente práctica) y afirma que fue escrito «en nuestro tiempo» y que él se lo pidió a su autor y lo copió. Más información sobre el origen de esta obra puede encontrarse en el prólogo del *Taysīr*[150], en el que Ibn Zuhr rechaza, con palabras muy duras, la medicina representada por los *kunnāš* y afirma que escribe su obra para corregir sus deficiencias, aspirando a lograr un término medio entre una medicina teórica y otra de carácter práctico. No obstante, cuando lo estaba escribiendo, acudió a visitarle un inspector encargado de supervisar sus actividades el cual desaprobó la concepción del libro por considerar que sólo podría resultar de utilidad a quien tuviera conocimientos médicos, por lo que no respondía al encargo que se le había hecho. Por este motivo, y muy a desgana, Ibn Zuhr compuso su libro denominado *al-Ŷāmiᶜ* en el que se vio obligado a abandonar el procedimiento «ideal» que había adoptado en el *Taysīr* y consignó por escrito todo aquello que debe saber tanto el enfermo como las personas que lo rodean. Este conjunto de datos nos da una idea de lo que debió suceder: existieron, sin duda, niveles de calidad muy distintos en la elaboración de los tratados de terapéutica denominados *kunnāš* entre los que hubo libros concebidos con seriedad y simples recetarios basados en una toma de notas apresurada y confusa. Ibn Zuhr quiso proporcionar a los médicos un buen tratado práctico de terapéutica tras el cual existiera una buena formación teórica de un hombre que, como él, conocía perfectamente la obra de Hipócrates y Galeno: no es de extrañar por ello el que Ibn Rušd considere que el *Taysīr* es un *kunnāš* y el que Ibn Zuhr parezca reprobar este género literario. Habiendo concebido su obra, se debió producir el encargo real -- sin duda procedente del califa ᶜAbd al-Mu'min -- de una especie de manual de divulgación médica similar al *Iqtiṣād*, dedicado a un príncipe almorávide, e Ibn Zuhr pensó en aprovechar su idea primitiva que tal vez ya hubiera comenzado a poner por escrito. La visita del inspector truncó sus esperanzas y el resultado fue la redacción del *Ŷāmiᶜ*. Ambas obras se encuentran, pues, unidas en su origen y la

149 Ed. J.M. Fórneas y C. Alvarez de Morales, Madrid, 1987, I, p. 518.

150 Cf. la ed. de Jūrī pp. 5-6; C. Peña y F. Girón, «Aspectos inéditos en la obra médica de Avenzoar: el prólogo del *Kitāb al-taysīr*. Edición, traducción y comentarios», *Miscelánea de Estudios Arabes y Hebraicos* 26 (1977), 103-116.

tradición medieval europea consideró el *Kitāb al-Ŷāmi*^{c} (*Antidotarium*) como una especie de apéndice del *Taysīr* y, de hecho, la edición crítica moderna de este último libro incluye también el *Ŷāmi*^{c}. Ahora bien, mientras este último es, fundamentalmente, un recetario de medicamentos compuestos (jarabes, electuarios, píldoras, pomadas, ungüentos etc.) que revela el profundo interés que Ibn Zuhr sintió por la práctica farmacológica, el *Taysīr* propiamente dicho tiene un contenido médico mucho mayor. En él el estudio y descripción de las enfermedades se hace según el orden tradicional, de cabeza a pies, y la parte farmacológica aparece, dentro de cada enfermedad, al describir el tratamiento, constituyendo el conjunto un excelente manual de uso diario para el médico práctico en el que aparece contínuamente la experiencia personal de Ibn Zuhr que le permite aportar importantes novedades. Así, es el primer médico que describe el absceso del pericardio y uno de los primeros que recomiendan la traqueotomía y la alimentación artificial por el esófago o por el recto, habiendo sido precedido sólo por el médico oriental al-Ṭabarī (s.X) en la identificación del agente causante de la sarna (*sarcoptes scabiei*)[151].

5.5.3.3 *Medicina y filosofía: Ibn Rušd.*

Si, como hemos visto, la obra de Ibn Zuhr tiene un carácter marcadamente práctico, la de Ibn Rušd[152] apunta más a la formación teórica del médico y se encuentra en consonancia con un hombre que, aunque ejerció como médico, era ante todo un filósofo con intereses enciclopédicos. Siguiendo la misma técnica que utilizó en sus comentarios a la obra de Aristóteles, Ibn Rušd elaboró paráfrasis expositivas (*taljīṣāt*) a los *Elementos* (*Usṭuqsāt*), *Temperamentos* (*Mizāŷ*), *Facultades naturales* (*al-Quwà al-ṭabī*^{c}*iyya*) y *Fiebres* (*al-Ḥumà*) de Galeno, así como una exposición compendiada (*ŷāmi*^{c}), titulada *Kalām fī ijtiṣār al-*^{c}*ilal wa-l-a*^{c}*rāḍ* («Resumen sobre las causas y los síntomas») en la que resume cuatro escritos galénicos sobre causas y diferencias de las enfermedades y sobre las causas y diferencias de los síntomas. A esto hay que añadir las *masā'il* (cues-

[151] Arnaldez, «Ibn Zuhr», *E.I.* III, 1002-1003.

[152] Cf. Jaṭṭābī, *Al-Ṭibb wa-l-aṭibbā'* I, pp. 321-417.

tiones) — en las que cita a Galeno de forma no literal y adopta una actitud más personal — *Fī aṣnāf al-mizāŷāt* («Sobre los diversos temperamentos»), *Fī zamān al-nawba* («Sobre el momento de la crisis»), *Fī-l-tiryāq* («Sobre la tríaca») y *Fī ḥifẓ al-ṣiḥḥa* («Sobre la conservación de la salud»)[153], así como el comentario a la *Urŷūza fī-l-ṭibb* de Ibn Sīnā (980-1037). El conjunto de los escritos galénicos de Ibn Rušd parece poder fecharse a lo largo de las décadas de los ochenta y de los noventa del siglo XII y tal vez no sea inútil el recordar que nuestro autor se convirtió, en 1182, en médico de cámara del califa almohade Abū Yaᶜqūb Yūsuf lo que pudo provocar un renacimiento de su interés por los temas médicos a los que se había dedicado ya con anterioridad ya que, entre 1162-69, escribió sus célebres *Kulliyyāt fī-l-ṭibb* («Generalidades sobre la medicina»), obra que revisó en su segunda etapa de dedicación al tema, hacia 1194: la primera de estas dos versiones parece ser la que se conserva en el texto árabe de la obra[154], mientras que la segunda estaría representada por la traducción latina (*Colliget*).

El hecho de que Ibn Rušd haya dedicado parte de sus actividades a elaborar comentarios, a distintos niveles, a la obra de Galeno nos obliga a plantearnos, en primer lugar, qué lugar ocupa éste en la jerarquía de sus maestros frente a Aristóteles. En los comentarios reproduce con fidelidad las ideas de Galeno pero no tiene inconveniente en corregirle, cuando lo considera necesario (§ 5.4). En las *Kulliyyāt* se plantea la cuestión de las funciones respectivas del diafragma y los pulmones en la respiración y de establecer si ésta es voluntaria (Galeno) o constituye un proceso fisiológico independiente de la voluntad humana (Aristóteles). La solución de compromiso de Ibn Rušd trata de reconciliar a Galeno, cuya superioridad desde el punto de vista de la observación de los hechos reconoce, con Aristóteles, al que considera superior desde el punto de vista de la argumentación lógica. Intenta rehabilitar a Aristóteles como naturalista y establecer que la obra de Galeno completa la del filósofo sin contra-

[153] Sigo la clasificación de M. Cruz Hernández en *Abū-l-Walīd ibn Rušd (Averroes). Vida, obra, pensamiento, influencia*, Córdoba, 1986, pp. 231-232. Las páginas 229-248 de este libro contienen un buen resumen de las ideas médicas de Ibn Rušd que seguiré, con frecuencia, en este apartado aunque no lo cite explícitamente. La obra galénica de Ibn Rušd ha sido editada por C. Vázquez de Benito en *Commentaria Averrois in Galenum*, Madrid, 1984.

[154] Cf. la edición de J.M. Fórneas y C. Alvarez de Morales, Madrid, 1987 ya citada.

decirle en realidad: su propia experiencia le demuestra a Ibn Rušd que la respiración no es un fenómeno puramente voluntario pero, en ella, hay algo de voluntariedad[155].

La fama de Ibn Rušd como médico se debe, ante todo, a las *Kulliyyāt* que, junto con el *Taysīr* de Ibn Zuhr, constituyen las dos cumbres de la medicina andalusí en este período. No en vano se han considerado como complementarias y se ha llegado a afirmar que constituyen un conjunto coherente que aspiraba, tal vez, a sustituir al *Qānūn* de Ibn Sīnā[156]: la primera constituye un manual que expone los conocimientos de carácter general que el médico debe poseer, mientras que el *Taysīr* — al que, como hemos visto remite el propio Ibn Rušd en el epílogo de las *Kulliyyāt* — desciende a los detalles de la terapéutica práctica. La principal originalidad del manual de generalidades radica en su estructuración que sigue un orden muy distinto a los tratamientos habituales *de capite ad calcem* y hace pensar en una lista de asignaturas en un plan de estudios de una Facultad de Medicina: Anatomía y Fisiología, Patología, Sintomatología, Farmacología y Dietética, Conservación de la Salud (Higiene) y Terapéutica. Ibn Rušd, abandonando la tradición galénica, independiza la Anatomía de la Fisiología y describe un cuerpo humano inerte, como si se tratase de un cadáver. En esto se ha querido ver un anuncio de la postura de Vesalio y de los anatomistas del Renacimiento[157]: en realidad, como señala Cruz Hernández, Ibn Rušd está siguiendo a Aristóteles para quien la sustancia (cuerpo humano) condiciona los accidentes (movimiento) por lo cual debe partirse del primero y no del segundo. Según ha establecido Rodríguez Molero, las ideas anatómicas de Ibn Rušd proceden de al-Rāzī (un 80 %), de Ibn al-ᶜAbbās (menos del 15 %) y del *Qānūn* de Avicena, mientras que sus frases originales no llegan a un 5 % del total. Pese a ello no duda en corregir a sus fuentes y establece, por ejemplo, que de las vértebras del cuello salen 8 pares de nervios (no 7 como pretendía

155 J.C. Bürgel, «Averroes "contra Galenum". Das Kapitel von der Atmung im Colliget des Averroes als ein Zeugnis mittelalterich-islamischer Kritik an Galen», *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. I. Philologisch-Historische Klasse*, Jahrg. 1967, Nr. 9, Göttingen, 1968, pp. 266-340.

156 R. Arnaldez y A.Z. Iskandar, «Ibn Rušd», *D.S.B.* XII, 7.

157 F.X. Rodríguez Molero, «Originalidad y estilo de la Anatomía de Averroes», *Al-Andalus* 15 (1950), 47-63.

al-Rāzī). La terminología utilizada, en la que a veces se apela a la observación (*bi-l-ḥiṣṣ*), ha hecho pensar a veces en un Ibn Rušd «observador de la naturaleza»[158] y ha conducido a sobrevalorar su originalidad. Esta actitud parece exagerada y parece claro que este autor es, ante todo, un teórico[159]. Las observaciones personales que se le atribuyen tienen, en general, un carácter demasiado elemental y revelan, sin duda, a un hombre de una inteligencia excepcional que abre sus ojos ante el mundo que le rodea y no puede por menos que constatar lo que ha visto aunque no puede deducirse de ello que estemos ante un médico que aplica a su visión de la medicina la experiencia acumulada en un programa sistemático de observaciones. Esto no excluye, evidentemente, el que las *Kulliyyāt* incluyan aportaciones personales como sus referencias al cuidado con el que debe aplicarse la tríaca (un medicamento compuesto con una elevada concentración de opio) para los dolores del parto, dado el peligro que entraña para el feto, o bien sus alusiones -- en cierto modo proféticas de una moda muy actual -- a las virtudes dietéticas del aceite de oliva que se consume en al-Andalus.

5.5.3.4 *La medicina andalusí en el exilio: Maimónides.*

La tercera gran figura médica de esta etapa es, sin duda, Maimónides el cual, a partir del momento en que se instaló a vivir en Fusṭāṭ (actualmente absorbido por El Cairo) en el año 1165, se ganó la vida dedicándose al ejercicio de la medicina y llegó a ser médico de cámara del monarca ayyūbī Ṣalāḥ al-Dīn (Saladino) y de su hijo. El análisis de la obra escrita de este autor, en materia de medicina, hace pensar que se encuentra directamente relacionada con su práctica médica y sus frecuentes citas de autores andalusíes, especialmente de Abū Marwān b. Zuhr, le entroncan con la tradición médica de la que me estoy ocupando. Sin duda debió tener discípulos en

[158] M. Alonso, «Averroes observador de la naturaleza», *Al-Andalus* 5 (1940), 215-230; M. Cruz Hernández, «El pensamiento de Averroes y la posibilidad del nacimiento de la ciencia moderna», *Atti del XII Congresso Internazionale de Filosofia* XI (Florencia, 1960), 76-77.

[159] E. Torre, «Averroes y la ciencia médica. La doctrina anatomofuncional del "Colliget"», Madrid, 1974. Este volumen contiene una edición facsímil y una traducción castellana de la Anatomía y Fisiología del *Colliget* a partir de la edición Venecia, 1553.

esta materia y ciertos libros están claramente dedicados a ellos. En otros casos se ocupa de un tema como consecuencia de su actuación como médico de corte a la vista de un problema concreto del sultán o de algún personaje de su entorno, o bien como resultado de un encargo. Dentro de la *primera categoría*, he mencionado ya (§ 5.5.2) su obra farmacológica que, al igual que el resto de sus diez tratados médicos[160], fue redactada en árabe aunque la erudición moderna ha prestado más atención a las traducciones hebreas de estas obras que empiezan a aparecer a partir de mediados del siglo XIII[161]. Dedicados a sus estudiantes debieron ser sus tratados de carácter general como sus extractos de los libros de Galeno (*Mujtaṣarāt li-kutub Ŷālīnūs*), su comentario a los *Aforismos* de Hipócrates (*Šarḥ fuṣūl Ibuqrāṭ*) y sus propios *Aforismos* (*Fuṣūl Mūsà fī-l-ṭibb*), escritos entre 1187 y 1190, y que constituyen una obra extensa con más de 1500 aforismos estructurados en veinticinco capítulos, cada uno de los cuales trata de un área distinta de la Medicina. En estas obras, Maimónides se muestra buen conocedor de la tradición médica griega y aunque, por lo general, no suele citar sus fuentes, menciona las obras galénicas y seudo-galénicas que maneja en sus *Aforismos*, obra en la que señala que la mayor parte de los autores médicos escribieron compendios en forma de aforismos para facilitar el estudio de sus discípulos pero que Galeno no lo hizo, lo que se propone subsanar Maimónides con este libro[162]. Su manejo de fuentes clásicas, que no se limita a Galeno, no le impide criticarlas[163], exponer -- lo

[160] Cf. la lista de obras recogida por D. Romano en el catálogo de la exposición *Maimónides y su época* (Córdoba, 1986), 117-120. Cf. también C. Peña *et al.*, «Corpus medicorum» pp. 96-100.

[161] Cf. un estado de la cuestión con buena bibliografía en F. Rosner, *Medicine in the Mishneh Torah of Maimonides*, New York, 1984, 1-17; M. Meyerhof, «L'oeuvre médicale de Maïmonide», *Archeion* 11 (1929), 135-155; M. Meyerhof, «Mediaeval Jewish Physicians in the Near East, from Arabic Sources», *Isis* 28 (1938), 432-460 (especialmente pp. 446-450). Estos dos trabajos de Meyerhof han sido reimpresos con los números VIII y VII en el volumen *Studies in Medieval Arabic Medicine*. Variorum Reprints. Londres, 1984.

[162] S. Muntner, «Galen's Books listed by Maimonides in his Aphorismes» [*sic*]. *Homenaje a Millás-Vallicrosa* II (Barcelona, 1956), 119-129 (en hebreo, con un resumen en inglés en pp. 129-130).

[163] J. Schacht y M. Meyerhof, «Maimonides agains *Galen on* Philosophy and Cosmology», *Bulletin of the Faculty of Arts of the University of Egypt. Arabic Section* 5 (1937), 52-88. Reimpreso en Meyerhof, *Studies in Medieval Arabic Medi-*

hace contínuamente -- sus propias ideas y aportar novedades: así, parece ser el único médico medieval que conoce y estudia la diabetes[164]. Otras obras, en cambio, se ocupan sobre temas muy concretos y cabe introducirlas en la segunda categoría: es el caso de su tratado sobre el coito (*Maqāla fī-l-ŷimāᶜ*) -- un tema característico dentro de la dietética de tradición hipocrática --, escrito para el sultán al-Muẓaffar ᶜUmar b. Nūr al-Dīn, sobrino de Saladino, en el que recomienda moderación en la práctica de las relaciones sexuales y ofrece una colección de recetas de drogas y alimentos que tienen carácter afrodisíaco y antiafrodisíaco. Carácter eminentemente dietético tienen también su tratado sobre el régimen de la salud (*al-Risāla al-Afḍaliyya fī tadbīr al-ṣiḥḥa*) (1198) y su explicación de los síntomas (*Maqāla fī bayān al-aᶜrāḍ*) (1200), dedicadas ambas a establecer un régimen de vida saludable para el sultán al-Malik al-Afḍal, que sufría frecuentes ataques de melancolía depresiva: en la segunda llega a reglamentar sus actividades hora por hora. Resulta particularmente interesante, en la primera de estas dos obras, el énfasis que pone Maimónides en la influencia del estado psicológico del individuo en la salud de su cuerpo y viceversa, con lo que se constituye en uno de los precursores de la medicina psicosomática. Los problemas de un noble de la corte le llevan asimismo a escribir su tratado sobre los hemorroides (*Risāla fī-l-bawāsīr*) en el que se muestra escéptico acerca de la conveniencia de su tratamiento quirúrgico y preconiza, en su lugar, el uso de una dieta adecuada a base de vegetales, ya que ha establecido la relación existente entre los hemorroides y la mala digestión (el estreñimiento, sobre todo). Para otro personaje sin identificar escribirá en 1190 su tratado sobre el asma (*Maqāla fī-l-rabw*) en el que demuestra conocer el asma bronquial como enfermedad nerviosa que debe tratarse tanto psíquica como dietéticamente. Maimónides es autor, finalmente, de un famoso tratado de toxicología por encargo del ministro al-Qāḍī al-Fāḍil, en 1199, el cual deseaba disponer de un manual con instrucciones sencillas que pudieran ser seguidas, hasta la llegada del médico, en los casos de intoxicación o mordedura de un animal venenoso: se trata, pues, de un típico libro de «salud pública», encargado por el Gobierno y dedicado al público en general. El libro se ocupa de los vene-

cine nº IX.

[164] S. Muntner, «Maimonides: ses mérites concernant la médecine», *Actes du IXᵉ Congrès International d'Histoire des Sciences*, Barcelona-Paris, 1960, II, pp. 394-397.

nos y de sus antídotos (*al-Risāla al-fāḍiliyya fī ᶜilāŷ al-sumūm wa ḏikr al-adwiya al-nāfiᶜa min-hā*) y su primera parte está dedicada a las mordeduras y picaduras de serpientes, perros rabiosos, escorpiones, abejas, avispas y arañas. En ella llama la atención el que Maimónides conozca el largo período de incubación de la rabia (hasta cuarenta días), así como el que rechace ciertos remedios basados en las creencias populares (la piedra de benzoar) y proponga, en cambio, una serie de medidas muy sensatas en caso de mordedura de serpiente (ligatura del miembro mordido, incisión, chupar la herida, cauterizar y aplicar fármacos). Por otra parte, distingue entre dos tipos distintos de serpientes venenosas, las víboras y las restantes, lo que equivale, en la práctica a distinguir entre las hemotoxinas producidas por las víboras y las neurotoxinas de la mayoría de las restantes especies[165].

5.5.4 LA AGRONOMIA: IBN AL-ᶜAWWĀM.

En el capítulo anterior (§ 4.5) he analizado las líneas generales que presiden el desarrollo de la escuela agronómica andalusí y lo dicho allí puede aplicarse perfectamente a la figura de Ibn al-ᶜAwwām cuyo *Kitāb al-Filāḥa* ha sido considerado durante mucho tiempo como la obra cumbre de la mencionada escuela y se le ha dado un énfasis similar al adquirido por la obra farmacológica de Ibn al-Bayṭār. En ambos casos se trata, sin duda, de grandes compilaciones acordes con el espíritu enciclopédico de la época. Por otra parte, ambos libros tuvieron la fortuna de ser objeto de ediciones y traducciones muy tempranas: en el caso de Ibn al-ᶜAwwām, el *Kitāb al-Filāḥa* fue editado y traducido al castellano por Banqueri en 1802 y traducido al francés en 1864-67 por Clément-Mullet[166]. Es curioso señalar, tal como ha hecho repetidamente Vernet, que la versión de

[165] S. Muntner, «Maimonides' book for al-Fāḍil», *Isis* 35 (1944), 3-5.

[166] J.A. Banqueri, *Libro de Agricultura. Su autor el doctor excelente Abu Zacaria Iahia aben Mohamed ben Ahmed ebn el Awam, sevillano.* 2 vols. Madrid, 1802 (hay edición facsímil publicada en Madrid, 1988, con un estudio preliminar de E. García Sánchez y J.E. Hernández Bermejo titulado «La figura de Ibn al-ᶜAwwām y el significado de su "Tratado de Agricultura" dentro de la escuela agronómica andalusí» vol. I, pp. 11-46); M. Clément-Mullet, *Le Livre de l'agriculture d'Ibn al-Awam.* 3 vols. París, 1864-1867.

Banqueri fue publicada a expensas de la Biblioteca Real y lleva una censura previa del Conde de Campomanes, fechada el 8 de Mayo de 1793, en la que éste manifiesta su convicción de que la lectura del libro de Ibn al-ᶜAwwam puede contribuir a mejorar la situación de la agricultura española en su tiempo y resultar útil no sólo a agricultores sino también a «los profesores de botánica, medicina y albeytería». El patrocinio real a la publicación de Banqueri no tuvo, pues, un carácter histórico-erudito sino que se consideró que el libro tenía una evidente utilidad práctica.

Pese a que el tratado de agricultura de Ibn al-ᶜAwwām resulta accesible desde principios del siglo pasado, son escasísimos los estudios que se han llevado a cabo sobre él[167]. De hecho, el *Kitāb al-filāḥa* de este autor ha sido utilizado profusamente, dado el gran número de citas que contiene, como fuente para el análisis de la obra de los agrónomos andalusíes del siglo anterior, pero no ha sido estudiado en sí mismo con vistas a establecer su importancia en el seno de la tradición agronómica en al-Andalus. Sólo en fecha muy reciente se ha llevado a cabo un estudio de conjunto, debido a E. García Sánchez y J.E. Hernández Bermejo a quienes voy a seguir aquí. En él se aclara, por ejemplo, la difícil cuestión de la época en la que vivió Ibn al-ᶜAwwām, partiendo de los datos que él mismo expone en su obra en la que cita profusamente sus experiencias realizadas en el Aljarafe de Sevilla y menciona las ciudades de Carmona, Ecija, Medina Sidonia, Sanlúcar [la Mayor] y Constantina, así como Córdoba y Granada. No hay, en la obra, referencia alguna a la crisis económica que sufrió Andalucía durante los primeros años del gobierno almohade (1147-1172), sino que en ella se traduce un ambiente de relativa calma y prosperidad, anterior al avance cristiano que se inicia hacia 1226 y culmina con las conquistas de Córdoba (1236), Arjona (1244), Jaén (1246), Sevilla (1248). Todo esto apunta a fechar la actividad de Ibn al-ᶜAwwām en el último tercio del siglo XII, lo que encaja bien con la lista de autoridades que menciona, la última de las cuales es el *Kitāb al-agdiya* de ᶜAbd al-Malik b. Zuhr (§ 5.5.3.2).

El *Kitāb al-Filāḥa* es un extenso tratado dividido en 34 capítulos de extensión variable de los que 29 se ocupan de agronomía propiamente dicha, uno (cap. 30) de cuestiones de economía doméstica

[167] Cf. la bibliografía citada por J. Vernet, «Ibn al-ᶜAwwām», *D.S.B.* I (Nueva York, 1970), 350-351.

(elección del lugar adecuado y de los materiales para construir la granja, fabricación de diversos productos como agua de rosa, vino dulce y vinagre, técnica del destilado etc.) así como de los procedimientos para hacer predicciones meteorológicas. Finalmente, los capítulos 31-34 se ocupan del cuidado de los animales de la granja, tema del que se ocupan otros tratados agronómicos tanto orientales como andalusíes[168]. Constituye, sin duda, el tratado andalusí de agricultura más completo que conocemos en el que se encuentra una multitud de citas textuales de los autores a los que me he referido en el capítulo anterior (§ 4.5.2) -- Ibn Baṣṣāl, Ibn Ḥaŷŷāŷ, Abū-l-Jayr y al-Ṭignarī -- a los que hay que añadir ᶜArīb b. Saᶜīd, el autor del *Calendario de Córdoba* (§ 2.4.3), Ibn Abī Ŷawād y «otros» a los que cita anónimamente y que son tanto musulmanes como no musulmanes andalusíes. Los autores orientales están representados, fundamentalmente, por Abū Ḥanīfa al-Dīnawarī, al que cita de manera indirecta, y por la *Agricultura Nabatea* que Ibn al-ᶜAwwām conoce directamente y de la que extrae más de 465 citas. La influencia de esta última fuente es tan notable que el gran historiador tunecino del siglo XIV Ibn Jaldūn creyó que el *Kitāb al-Filāḥa* era un resumen de la obra de Ibn Waḥšiyya: se muestra particularmente importante en el capítulo relativo al cultivo de los árboles en el que -- en lo que respecta sobre todo al cultivo del olivo y de la vid-- Ibn al-ᶜAwwām aplica claramente las técnicas mesopotámicas[169]. Sus citas de autores clásicos (Demócrito, el seudo-Aristóteles, Teofrasto, Virgilio, Varrón, el discutido Yūniyūs etc.) son también indirectas. No obstante el libro -- tal como sucede, también, con la obra farmacológica de Ibn al-Bayṭār -- no se limita a ser un crisol de citas sino que incluye multitud de referencias a sus experiencias propias así como a los datos que obtiene de informadores verbales, sobre todo viajeros procedentes de Oriente. Su fundamentación teórica, basada en la teoría humoral hipocrático-galénica, no es distinta de la de los restantes autores andalusíes pero llaman la atención sus conocimientos sobre las clases de tierras y los procedimientos que pro-

[168] C. Alvarez de Morales, «La zootecnia en los textos agrícolas árabes», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 81-91.

[169] M. El-Faiz, «Contribution du livre de l'Agriculture Nabatéenne à la formation de l'agronomie andalouse médiévale», *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus* I, 163-177 (cf. especialmente pp. 172-176).

pone para el análisis de suelos. A lo largo de su obra menciona unas 400 especies vegetales lo que supone un notable avance con respecto a las 150 que cita Columela y a las 120 de las que se ocupará Gabriel Alonso de Herrera en el siglo XVI. Los datos que ofrece permiten, por otra parte, establecer la lista de las especies que se cultivaban en al-Andalus en el siglo XII. Es particularmente cuidadoso en la descripción de las técnicas de cultivo, en lo relativo a los métodos de siembra, injerto, riego, abono etc., ofreciendo muchas veces soluciones sorprendentes, resultado de la experiencia acumulada, que incluso son válidas en la agricultura moderna. El conjunto resulta interesante y la aportación de Ibn al-ᶜAwwām deberá ser objeto de una nueva valoración cuando se conozcan mejor sus fuentes.

5.6 CONCLUSIONES.

Este largo capítulo nos ha permitido aproximarnos a una etapa peor conocida que el período anterior y que ha sido, en general, juzgada de forma peyorativa. En la medida en que se la puede caracterizar de manera provisional, se impone señalar que no existe evidencia de que continuase la tradición matemática apuntada, en el siglo XI, en la obra de Ibn Muᶜāḏ y de al-Mu'taman de Zaragoza. Se ha perdido también la tradición mecánica representada por Ibn Jalaf al-Murādī. Frente a una nueva astronomía teórica, muy crítica con respecto a Ptolomeo, representada por Ŷābir ibn Aflaḥ, y que todavía no podemos valorar, la obra astronómica de Azarquiel se ve claramente continuada en el *zīŷ* de Ibn al-Hā'im y, como veremos en el capítulo siguiente, en el *zīŷ* de Ibn al-Raqqām. Esto nos lleva a la conclusión de que el siglo XII es el período en el que se confirman las tendencias básicas que caracterizan la ciencia andalusí frente a la árabe oriental: tradición zarqālí (una curiosa mezcla de materiales hindúes y ptolemaicos en proporciones bien determinadas) en astronomía, desarrollo de una Botánica aplicada a la Farmacología que sigue las huellas de Dioscórides y persistencia de una tradición agronómica. Tanto la Farmacología como la Agronomía tienden, en este período, a la elaboración de grandes síntesis pero no se pierde el espíritu de observación y experimentación y los manuales que se elaboran siguen conteniendo aportaciones originales. Resulta curioso el que, en una etapa claramente dominada por las grandes figuras de la Filosofía andalusí para las cuales Aristóteles es, claramente, la

autoridad máxima, no se haya producido un desarrollo de la Botánica no aplicada y de la Zoología que se alineara más claramente con la tradición peripatética. Esta Filosofía, por otra parte, hará nacer una nueva «Astrofísica», muy alejada de la línea de Azarquiel, y, sobre todo, introducirá la dinámica neoplatónica de al-Biṭrūŷī e Ibn Bāŷŷa. Señalemos, por último, la novedad representada por la aparición de las grandes figuras de la medicina andalusí que toman el relevo de la gran obra de Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī, aparentemente abandonada en el siglo anterior. Pese a aparecer indicios de un inicio de decadencia, no cabe duda de que la etapa almorávide y almohade fue un período particularmente activo.

CAPITULO 6

EPILOGO: LA LARGA AGONIA DE LA CIENCIA EN LA GRANADA NAZARI (1232-1492)

6.1 GENERALIDADES.

La derrota de los almohades en la batalla de Las Navas de Tolosa (16 de Julio de 1212) supuso el fin de su poderío en al-Andalus y el comienzo de una etapa de inestabilidad política, tanto en los dominios musulmanes de la Península como en el Magrib. La posibilidad de una nueva etapa taifa fue superada por dos intentos de restauración de un al-Andalus unido e independiente. El primero, efímero, fue el de Ibn Hūd que conquistó Murcia en 1228 y que, en dos años, se apoderó de la casi totalidad del país aún no dominado por los cristianos. El segundo, mucho más duradero, fue llevado a cabo por Muḥammad b. Yūsuf b. Naṣr, proclamado sultán en Arjona en 1232, y fundador de la dinastía de los Naṣríes o Nazaríes que presidirá la larga agonía de lo que restaba de al-Andalus, reducido al reino de Granada, hasta el momento en que los Reyes Católicos entran en la capital el 2 de Enero de 1492. Son dos siglos de supervivencia difícil que se caracterizan, ya desde 1243, por la existencia de un pacto de vasallaje con respecto al reino de Castilla[1]: podría

[1] Sobre la Granada Nazarí cf. la monografía de R. Arié, *L'Espagne Musulmane au temps des Naṣrides (1232-1492)*. París, 1973 (en las páginas 396-399, 410-411 y 423-438 se encontrará información sobre el desarrollo de las ciencias y de la medicina). Estados de la cuestión recientes sobre este tema pueden verse en E.

decirse, en cierto modo, que la Granada Nazarí sobrevive porque se le permite sobrevivir.

Se trata de un período en el que resulta particularmente difícil trazar las líneas generales de su desarrollo científico: las fuentes escasean y, cuando existen, no han sido estudiadas. Los eruditos no suelen sentirse atraidos por las etapas de decadencia. De cualquier modo hay que empezar por constatar que el ámbito en el que los científicos andalusíes pueden desarrollar sus actividades es, obviamente, cada vez más reducido. Ante los avances de la conquista cristiana, los hombres cultos, en mayor proporción que el resto de la población, se ven obligados a emigrar a Granada o al Norte de Africa. Se intensifica así un movimiento migratorio que ya apuntaba en el siglo anterior. De hecho, son rarísimos los casos de los hombres de ciencia que permanecen en la España sometida por los cristianos y esto sucede pese a los intentos de un Alfonso X (1252-1284) por atraerse la colaboración de científicos musulmanes tras su conquista de Murcia en 1266. Se trata de un intento esporádico y con escasos resultados ya que son sólo dos los científicos andalusíes documentados en la corte del rey Alfonso: tenemos, por una parte al llamado Bernardo el Arábigo, sin duda un musulmán converso, con escaso peso específico entre los colaboradores del rey ya que sólo sabemos de él que colaboró en la revisión de la traducción del tratado de Azarquiel sobre la azafea (cf. *supra* § 3.3.3.3) que se llevó a cabo en Burgos en 1278: de cualquier modo fue tratado generosamente por Alfonso X quien le concedió tierras tras la conquista de Murcia. El segundo personaje a mencionar es mucho más curioso: se trata del murciano denominado Muḥammad b. Aḥmad al-Riqūṭī al-Mursī al que Ibn al-Jaṭīb atribuye conocimientos profundos en materia de Aritmética, Geometría y Medicina y grandes conocimientos lingüísticos ya que «enseñaba a las distintas naciones en sus lenguas propias las disciplinas que les eran características y que deseaban conocer» lo que, tal vez, implica que puiera conocer el romance y el latín además del hebreo (?). El rey Alfonso, tras la conquista de Murcia, le construyó una escuela (*madrasa*) en la que pudiera enseñar a musulmanes, cristianos y judíos, le tuvo en gran estima e intentó, sin éxito, que se convirtiera al cristianismo. Al-Riqūṭī optó por aceptar la invitación de Muḥammad II (1273-1302) y desplazarse a Granada en donde siguió dedicado a la enseñanza de la medicina y de otras

Calvo, «La ciencia en la Granada nazarí (Ciencias exactas y tecnología)», L.C.A. pp. 117-126; M. Castells, «La medicina en al-Andalus», L.C.A. pp. 139-142.

disciplinas, creó una escuela de médicos a la que aludiré más adelante, y se convirtió en una especie de asesor del sultán en materia científica[2].

Los casos de Bernardo el Arábigo y de al-Riqūṭī son excepcionales y el del segundo constituye un claro ejemplo de fracaso en el intento de permanencia en zona cristiana. Conozco tres ejemplos más de científicos andalusíes que empiezan su vida profesional en zona cristiana y acaban emigrando: en el capítulo anterior (§ 5.5.3.1) he mencionado al oftalmólogo Sulaymān b. Ḥāriṯ al-Qūṭī que ejercía y enseñaba en Toledo en 1159 y se desplazó a Sevilla en 1160. Rasgos similares presentan las biografías de Muḥammad b. al-Ḥāŷŷ (m. 1314), hijo de un carpintero, y también ingeniero, mudéjar de Sevilla, que acabó emigrando a Marruecos, y del médico Muḥammad al-Šafra al-Qirbilyānī (m. 1360), que aprendió cirugía en la Valencia cristiana con un tal *Baznad* (¿Bernat?) y que se trasladó al reino de Granada: me ocuparé de ambos con más detalle. El conjunto citado representa una cosecha muy escasa en relación con el gran número de casos en los que la emigración se produce desde el primer momento. No existe, en general, una ciencia mudéjar aunque pueden documentarse, a veces, situaciones excepcionales: existió en Zaragoza, en la segunda mitad del siglo XV, una *madrasa* en la que podía estudiarse, en árabe, la *Urŷūza fī-l-ṭibb* y el *Qānūn* de Ibn Sīnā[3]. Por otra parte, pese a las limitaciones, hay documentos que prueban, al menos en lo que respecta a la región de Valencia, que existió una cierta libertad de movimientos para los musulmanes que habitaban en esta zona: algunos viajaban a Granada o cruzaban el Estrecho para hacer la peregrinación o para llevar a cabo viajes de estudios y tenemos, también ejemplos de viajeros musulmanes que llegan a Valencia procedentes de Granada o del Norte de Africa[4]. Estos viajes tuvieron, a veces, consecuencias en el campo de la ciencia: un alfaquí de Paterna introdujo en Valencia, en 1450, un nuevo instrumento astronómico que recibió, en latín, el nombre de *sexagenarium* y que estaba siendo

[2] J. Samsó, «Dos colaboradores científicos musulmanes de Alfonso X», *Llull* 4 (1981), 171-179.

[3] J. Ribera, «La enseñanza entre los musulmanes españoles», *Disertaciones y Opúsculos* I (Madrid, 1928), pp. 248-249 y 351-354.

[4] M.C. Barceló, *Minorías islámicas en el país valenciano. Historia y dialecto*, Valencia, 1984, pp. 102-104.

utilizado por los astrónomos de El Cairo. Se trata de un instrumento que tiene una cierta relación con la familia de los ecuatorios y consta de una «cara planetaria», que nos proporciona los movimientos medios de los planetas, y de una cara trigonométrica, provista de un cuadrante de senos y de una escala zodiacal, con la que pueden resolverse gráficamente los problemas trigonométricos que permiten calcular las ecuaciones de los planetas: el uso de este instrumento resulta extraordinariamente complejo y los resultados son poco precisos pero, en conjunto, constituye una excelente herramienta de demostración, muy útil para el estudio de la astronomía ptolemaica. El tratado que describía, en árabe, el *sexagenarium* fue traducido al catalán, al italiano (?) y al latín y, con él, tenemos uno de los últimos casos conocidos de transmisión científica a través de España[5].

Todo lo anterior resulta un tanto excepcional y lo corriente es que los judíos sean los herederos de la ciencia andalusí en la España Cristiana. No merece la pena el mencionar aquí los nombres de los grandes colaboradores judíos de Alfonso X, auténticos seguidores de la tradición astronómica del s. XI, pero sí recordar que existe documentación sobre médicos judíos castellanos que siguen escribiendo en árabe. Así sucede con el anónimo autor, probablemente toledano y del siglo XIII, del libro titulado *al-Ṭibb al-Qašṭālī* («La Medicina Castellana»)[6] y un segundo caso está representado por la familia judía de los Banū Waqār a la que perteneció el manuscrito árabe 873 de El Escorial que contiene once tratados médicos, copiados por cinco manos distintas — probablemente pertenecientes todas a miembros de la citada familia — en distintas fechas a lo largo del siglo XIV. En el manuscrito aparecen, por otra parte, unas curiosísimas notas de carácter astronómico y astrológico que revelan el uso de materiales derivados de la tradición de Azarquiel e Ibn al-Kammād:

[5] L. Thorndike, «Sexagenarium», *Isis* 42 (1951), 130-133; E. Poulle, «Théorie des planètes et trigonométrie au XV^e siècle d'après un équatoire inédit, le sexagenarium», *Journal des Savants* (1966), 129-161; Poulle, *Les instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogérie planétaire du XIII^e au XVI^e siècle* (Ginebra-París, 1980) pp. 417-444. Buenas fotografías del *sexagenarium* del Museo de Oxford, de fines del siglo XV o principios del XVI, se encontrarán en J. Vernet *et al.*, *Instrumentos astronómicos en la España Medieval. Su influencia en Europa* (Sta. Cruz de la Palma, 1985), pp. 108-109, y en L.C.A. 216-217.

[6] L. García Ballester y C. Vázquez de Benito, «Los médicos judíos castellanos del siglo XIV y el galenismo árabe. El *Kitāb al-ṭibb al-qašṭālī al-malūkī* (Libro de medicina castellana regia) (c. 1312)», *Asclepio* 1 (1990), 119-147.

no en vano uno de los miembros de esta familia, Yosef b. Yiṣḥāq b. Mošé b. Waqār compuso en Toledo unas tablas astronómicas en 1357-58 en árabe que, más tarde, tradujo al hebreo[7].

Dejemos de lado lo que sucede en la España Cristiana, tanto en los medios musulmanes como en los judíos y recordemos que las autoridades cristianas, en el momento en el que conquistan una determinada región, suelen dar todo tipo de facilidades para que las clases dirigentes emigren al reino de Granada o al Norte de Africa. Esta situación perdura hasta los últimos momentos de la conquista: se ha establecido, por ejemplo, que, con esta política, los Reyes Católicos pretendían privar a la comunidad islámica de sus élites rectoras[8] y es probable que sus predecesores tuvieran las mismas intenciones. Por otra parte el Reino de Granada y los estados del Magrib (Ḥafṣíes en Túnez, ᶜAbd al-Wādíes en Tremecén, Mariníes y Waṭṭāsíes en Marruecos) acogieron, en general, bien a los emigrados andalusíes, sobre todo a aquellos que tenían un elevado nivel cultural[9]. En esto siguieron el ejemplo que, en los mismos orígenes del período, dio el califa almohade al-Rašīd (1232-1242) el cual, con motivo de la conquista de Valencia por Jaime I en 1238, concedió (en 1239 y 1240) dos privilegios: el primero de ellos favorecía a un antiguo funcionario de la administración almohade en al-Andalus a quien se asignaron unas rentas y un permiso para asentarse en cualquiera de los dominios del Imperio Almohade; el segundo tenía un carácter más general ya que iba dirigido a todos los emigrados de Valencia, Alcira y Játiva así como a todos los antiguos habitantes del Levante andalusí a los que se autorizaba a instalarse en Rabat[10].

[7] M. Castells, «Notas astrológicas y astronómicas en el manuscrito médico árabe 873 de El Escorial», *Al-Qanṭara* 12 (1991), 19-58.

[8] J.E. López de Coca, «Granada y el Magreb: la emigración andalusí (1485-1516)», *Relaciones de la Península Ibérica con el Magreb (siglos XIII-XVI)*. Actas del Coloquio editadas por M. García Arenal y M.J. Viguera, Madrid, 1988, pp. 409-451.

[9] Cf. R. Arié, «Les relations entre le Royaume Naṣride de Grénade et le Maghreb de 1340 à 1391», *Relaciones de la Península Ibérica con el Magreb* pp. 21-40; J. Vallvé, «La emigración andalusí al Magreb en el siglo XIII (despoblación y repoblación en al-Andalus)», *Relaciones...* pp. 87-129.

[10] E. Molina López, «Dos importantes privilegios a los emigrados andalusíes en el Norte de Africa en el siglo XIII, contenidos en el *Kitāb zawāhir al-fikar* de Muḥammad b. al-Murābiṭ», *Cuadernos de Historia del Islam* 9 (1978-79), 5-28.

En lo que respecta a Túnez, se produce una migración importante durante el reinado de Abū Zakariyyā' (1236-1249) el cual, según Ibn Jaldūn, legará a su hijo y sucesor al-Mustanṣir «una multitud de andalusíes de los que unos serán poetas distinguidos, otros escritores elocuentes, sabios ilustres, príncipes magnánimos, guerreros intrépidos, todos los cuales acudieron para abrigarse a la sombra de su poder»[11]. Hace ya bastantes años que Talbi[12] señaló que éste es el momento en el que empieza una «moda andalusí» en este país y subrayó la importancia que adquirieron, para el desarrollo de las influencias mutuas, los contactos entre los jefes de las cancillerías, con funciones similares a las de un moderno ministro de cultura, quienes, frecuentemente, pasaban de un estado a otro.

El porcentaje de científicos entre estos letrados andalusíes emigrados al Norte de Africa sólo puede intuirse esporádicamente: el polígrafo marroquí Ibn al-Qāḍī escribió, a fines del siglo XVI, un diccionario biográfico de las celebridades que habían pasado por Fez de la que se ha podido extraer una nómina de 135 emigrados andalusíes, que abarca tanto los visitantes de la ciudad como los que se asentaron en ella, cuya fecha de muerte está comprendida entre 1106 y 1598: de entre estos 135 personajes que son, todos ellos, gente culta sólo dos son expertos en aritmética y geometría, uno en particiones sucesorias (*farā'iḍ*) y seis en medicina[13]. Se demuestra, una vez más, que el cultivo de las ciencias no tenía un gran eco entre los intelectuales andalusíes.

Estos movimientos migratorios hacia el Magrib constituyeron, sin duda, una sangría para la ciencia de la Granada Nazarí pero contribuyeron a difundir en el Norte de Africa las aportaciones de la ciencia andalusí así como a la formación de escuelas magribíes que continuarían la tradición iniciada más allá del Estrecho. A esto se añade el hecho de que, a la zaga de las costumbres iniciadas durante los períodos almorávide y almohade, conocemos casos de científicos y

[11] J.D. Latham, «Contribution à l'étude des immigrations andalouses et leur place dans l'histoire de la Tunisie», *Etudes sur les moriscos andalous en Tunisie* editados por M. de Epalza y J. Petit, Madrid, 1973, pp. 21-63 (la cita de Ibn Jaldūn aparece en las pp. 24-25).

[12] M. Talbi, «Les contacts culturels entre l'Ifrīqiya Hafside (1230-1569) et le Sultanat Nasride d'Espagne (1232-1492)», *Actas del II Coloquio Hispano-Tunecino de Estudios Históricos (Madrid/Barcelona, mayo de 1972)*, Madrid, 1973, pp. 63-90.

[13] C. Romero, «Emigrados andalusíes en la *Ŷadwat al-Iqtibās* de Ibn al-Qāḍī», *Estudios Onomástico-Biográficos de al-Andalus* II (Granada, 1989), 307-327.

hombres cultos que cruzan el Estrecho en ambos sentidos con el fin de realizar estudios, enseñar en las *madrasas* o trabajar en los hospitales y, en estos desplazamientos, el objetivo ya no es necesariamente el Oriente sino que, con frecuencia, los andalusíes buscan sus maestros en el Magrib. Ibn al-Jaṭīb, en su *Iḥāṭa*, ofrece 7 referencias (siglos XIII-XIV) de hombres de ciencia andalusíes que emprenden la *riḥla* para realizar estudios, estando este viaje --o no-- vinculado con la peregrinación a La Meca: en 4 casos estos estudios se llevan a cabo en el Norte de Africa y en 3 en Oriente. A esto hay que añadir la presencia en al-Andalus, a lo largo de estos dos siglos, de 4 científicos norteafricanos[14]. Tenemos un excelente ejemplo, al respecto, en la figura del matemático al-Qalaṣādī (c. 1412-1486) ya que es autor de un extenso relato de su viaje (*riḥla*) a Oriente[15] que duró 15 años (1436-1451) durante los cuales hizo el recorrido siguiente: Baza, Tremecén, Orán, Túnez, Alejandría, El Cairo, Ŷidda, La Meca, Medina, El Cairo, Barqa, Trípoli, Túnez, Orán, Tremecén, Almería, Baza y Granada. Ahora bien, cuando analizamos el tiempo que permanece en cada una de estas ciudades sumando los períodos correspondientes a los viajes de ida y de vuelta, obtenemos los resultados siguientes: 8 años y 7 meses en Tremecén, 3 años y medio en Túnez, 1 año y casi 3 meses en El Cairo. Las restantes ciudades son meros lugares de paso en los que no se dedica ni a estudiar ni a enseñar. El predominio del Occidente Musulmán parece claro y parece ser un hecho relativamente frecuente a lo largo de todo el período.

Por otra parte, la circulación de científicos no implicó sólo una fuga de cerebros hacia el Magrib sino que el proceso tuvo también, esporádicamente, el sentido contrario gracias, sobre todo, a ciertos monarcas granadinos que se mostraron especialmente acogedores para con los hombres de ciencia. Uno de ellos es Muḥammad II (1273-1302) que, como hemos visto, atrajo a su corte a al-Riqūṭī y le dio medios para que pudiera ejercer la enseñanza en Granada. El mismo monarca logró que el matemático, astrónomo y médico Ibn al-Raqqām - sin duda la figura central para las ciencias exactas en esta etapa- que era de origen andalusí pero se había instalado en Bugía, acu-

[14] R. Puig, «Ciencia y técnica en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb. Siglos XIII y XIV», *Dynamis* 4 (1984), 65-79 (cf. p. 76).

[15] Muḥammad Abū-l-Aŷfān (ed.), *Riḥlat al-Qalaṣādī*, Túnez, 1978.

diera también a Granada. Este personaje enseñó matemáticas y astronomía a Abū Zakariyyā' ibn Ḥudayl y enseñó al sultán Naṣr (1309-1314) a calcular almanaques y construir instrumentos astronómicos. Entre los príncipes ilustrados cabe mencionar también a Yūsuf, hermano de Muḥammad II, muy aficionado a las matemáticas y a la astronomía, que se vio obligado a ocultar estos intereses a su padre Muḥammad I (1237-1273) el cual no los aprobaba[16].

6.2 NUEVAS INSTITUCIONES CIENTIFICAS: LA *MADRASA* Y EL *MARISTĀN*.

6.2.1 GENERALIDADES.

Al-Andalus no conoció hasta época muy tardía dos instituciones científicas que, en Oriente, aparecieron mucho antes: por una parte, la *madrasa* o centro de altos estudios dedicado, fundamentalmente, a la enseñanza de las «ciencias islámicas» y, muy particularmente, el derecho y en el que las restantes disciplinas tenían un carácter auxiliar. Su origen se identifica, tradicionalmente con el de la célebre *madrasa niẓāmiyya* de Bagdad, fundada por el visir Niẓām al-Mulk en 1065-1067, pero que probablemente existía desde antes[17]. Por otra, el *bīmāristān* o *māristān*, hospital, institución heredada de la tradición sasánida que se asentó definitivamente en Bagdad bajo Hārūn al-Rašīd (786-809) y no se introdujo en el Magrib hasta la fundación del hospital de Marrākuš por el califa almohade Yaᶜqūb al-Manṣūr (1184-1199)[18].

6.2.2 LA *MADRASA* GRANADINA.

Parece claro que la enseñanza superior en al-Andalus tenía lugar habitualmente en las mezquitas o en los domicilios de los profeso-

[16] R. Puig, «Ciencia y técnica» pp. 71 y 75.

[17] J. Pedersen y G. Makdisi, «Madrasa», *E.I.* V, 1119-1130.

[18] D.M. Dunlop y G.S. Colin, «Bīmāristān», *E.I.* I, 1259-1261.

res[19] y, pese a que existen indicios de la posible existencia de *madrasas* desde el siglo XII por lo menos[20], los únicos datos seguros corresponden a la etapa nazarí y se refieren, en primer lugar, a la fundación, poco después de 1334, de una institución de esta índole en Málaga por Abū ᶜAbd Allāh al-Sāḥilī, hijo de un piadoso *ṣūfī* que llevaba el mismo nombre. Esta *madrasa* malagueña tuvo, probablemente, un carácter místico y es poco probable que, en ella, se dieran enseñanzas científicas pero tiene interés señalar que la institución se subvencionaba, como todas las de su género, mediante las rentas de una fundación piadosa (*waqf*) dotada por al-Sāḥilī[21].

Mucho más interés para nuestros propósitos tiene la creación, hacia 1349, de la madrasa *yūsufiyya* (fundada por Yūsuf I), *naṣriyya* (nazarí) o *ᶜilmiyya* («científica») por iniciativa del chambelán Riḍwān, personaje de origen cristiano que constituyó el *waqf* necesario para su subsistencia[22]. Dos son los problemas que conviene plantear en relación con esta institución: el de su origen y el de la posibilidad de que en ella se dieran enseñanzas de carácter científico.

En lo que respecta a su origen, se han analizado, ante todo, las causas por las que una institución de esta trascendencia no llegó a al-Andalus hasta una fecha tan tardía cuando el Magrib la conocía desde 1229 y, en 1349, existían ya una veintena de *madrasas* en Africa del Norte[23]. La explicación más coherente se da, probable-

[19] J. Ribera, «La enseñanza entre los musulmanes españoles», *Disertaciones y Opúsculos* I, Madrid, 1928, pp. 229-359.

[20] M. ᶜAbd al-Ḥamīd ᶜĪsà, *Tārīj al-taᶜlīm fī-l-Andalus*, El Cairo, 1982, pp. 382-385.

[21] M.J. Rubiera, «Datos sobre una "madrasa" en Málaga anterior a la naṣrī de Granada», *Al-Andalus* 35 (1970), 223-226.

[22] Además de la bibliografía ya citada cf. L. Seco de Lucena, «El ḥāŷib Riḍwān, la madraza de Granada y las murallas del Albaicín», *Al-Andalus* 21 (1956), 285-296; D. Cabanelas, «La Madraza árabe de Granada y su suerte en época cristiana», *Cuadernos de la Alhambra* 24 (1988), 29-54. La fecha citada (750 H./1349) es la de la inauguración oficial que consta en la inscripción fundacional de la *madrasa*. Ahora bien, es posible que la institución estuviera ya en funcionamiento antes de esta fecha ya que, entre otras razones, Muḥammad b. Muḥammad b. Muḥārib al-Ṣarīḥī, conocido por Ibn abī-l-Ŷayš (m. 1349) fue invitado a dar clases en la *madrasa* en 1348: cf. M. ᶜAbd al-Ḥamīd ᶜĪsà, *Tārīj al-taᶜlīm* pp. 395-397.

[23] L. Golvin, «Quelques reflexions sur la fondation d'une madrasa a Grénade en 750=1349», *Actas del XII Congreso de la U.E.A.I. (Málaga, 1984)*, Madrid, 1986, pp. 305-313.

mente, en el hecho de que las tres escuelas jurídicas predominantes en Oriente autorizaban al individuo que establecía, con su capital, una fundación piadosa (*waqf*) para la construcción o el mantenimiento de una *madrasa*, a supervisar su funcionamiento controlando su personal docente y administrativo, derecho que era transmisible a sus herederos. En al-Andalus, en cambio, el derecho malikí vigente prohibía a los fundadores de un *waqf* el ejercicio de cualquier tutela sobre el mismo. Esta debió ser, probablemente, la causa fundamental que impidió el desarrollo de esta institución tanto en el Magrib como en al-Andalus.

Cabe plantearse, por otra parte, cuáles fueron las motivaciones que llevaron tanto al monarca Yūsuf I como a su chambelán Riḍwān a la fundación de la *madrasa* granadina a mediados del siglo XIV. El análisis de los motivos reales, llevado a cabo por Golvin, le lleva a confirmar la hipótesis planteada por Rachel Arié: se trata de una operación de prestigio lanzada por la monarquía granadina en un momento en que se encuentra en su apogeo y desea emular las fundaciones de los Ḥafṣíes tunecinos y Māriníes marroquíes. Esta motivación existió sin duda pero a ella puede, tal vez, añadirse una segunda: la posible influencia cristiana. Hemos visto que, según Ibn al-Jaṭīb, Alfonso X fundó, para al-Riqūṭī, una *madrasa* en Murcia, poco después de la conquista. Sorprende, en primer lugar, que el historiador granadino utilice, en este contexto, una palabra técnica tan precisa como la de *madrasa* que, tal como señala Cabanelas, es inadecuada para la institución por tratarse de una fundación realizada por un monarca cristiano, sin constitución de un *waqf* para su mantenimiento, ni constar en ninguna parte que se dieran, en ella, enseñanzas de derecho. No sorprende, en cambio, el que una *madrasa* esté destinada a que, en ella, enseñe un único profesor: casos de esta índole son frecuentes en el Oriente Islámico. En conjunto, por consiguiente, hay que descartar el que la fundación murciana sea una *madrasa* propiamente dicha. No hay duda, no obstante, de que se trató de un centro de enseñanza superior que llamó la atención en Granada ya que Muḥammad II no se limitó a atraer a al-Riqūṭī a su capital sino que le proporcionó los medios necesarios para que pudiera ejercer la enseñanza en su propio domicilio, una casa que acabó siendo propiedad de Ibn al-Jaṭīb. A esto debe añadirse un segundo hecho: en 1254 Alfonso X había creado, en Sevilla, un «estudio et escuelas generales de Latino et de Arauigo», lo que fue confirmado en 1260 en un breve del Papa Alejandro IV. Aunque no

se trate de un dato concluyente, resulta interesante constatar que, entre los numerosos testigos citados nominalmente al pie del privilegio del rey Alfonso se encuentran varios monarcas musulmanes de la Península y, muy concretamente, «D. Aboabdille Abenazar Rey de Granada uassallo del Rey» que, sin duda, es Muḥammad I (1231-1273), cuya *kunya* era Abū ᶜAbd Allāh[24]. Existe, pues, una clara constancia de que los monarcas granadinos tenían noticias de las fundaciones alfonsíes de Sevilla y Murcia y, por ello, cabe plantearse la posibilidad de que la fundación de la *madrasa* granadina no se debiera sólo al deseo de reproducir las instituciones similares que existían en el Magrib sino también al de emular a los monarcas cristianos que habían empezado a constituir centros de enseñanza superior: el hecho de que el chambelán Riḍwān, que llevó toda la iniciativa de la operación, fuese de origen cristiano puede resultar un dato significativo. Tendríamos entonces un reflejo, en el plano institucional, de lo que García Ballester ha denominado «reflujo de la escolástica»: tímida reintroducción, en el mundo árabe de la Baja Edad Media, de una cultura científica elaborada en la Europa Cristiana sobre materiales procedentes, en último término, del mismo mundo árabe. Conocemos, en efecto, algún otro ejemplo posible de este reflujo en la Granada Nazarí: Muḥammad b. al-Ḥāŷŷ (m. 1314) — al que ya he mencionado en § 6.1 y del que me ocuparé de nuevo en § 6.3.4)— que nació en la Sevilla cristiana, fue objeto de múltiples reproches, cuando se instaló en Granada, por su conocimiento y uso de la lengua y costumbres de los cristianos; por otra parte he mencionado también (§ 6.1) el caso de Muḥammad al-Šafra (m. 1360) que aprendió cirugía en Valencia con un maestro cristiano[25]. No en vano García Gómez ha caracterizado la Granada de fines del siglo XIII y primer tercio del XIV como un período de influencia castellana[26].

Me ocuparé, por último, de establecer hasta qué punto la *madrasa* granadina fue un centro en el que se dio una enseñanza de carácter científico o bien si, en ella, la temática tratada era estrictamente jurídica y religiosa. A este respecto, nada dicen las fuentes

[24] A. Ballesteros, *Sevilla en el siglo XIII*, Madrid, 1913, pp. LXVIII-LXX y CXII.

[25] Cf. sobre todo lo anterior J. Samsó, «Dos colaboradores...».

[26] E. García Gómez, «Ibn Zamrak, el poeta de la Alhambra (siglo XIV)», *Cinco poetas musulmanes*, Austral, Madrid, 1944, pp. 175-176.

que se ocupan, primariamente, de la *madrasa* y una idea acerca de las disciplinas que en ella se impartían sólo puede adquirirse partiendo, como hacen ᶜĪsà y Cabanelas, de las biografías de aquellos personajes de los siglos XIV y XV que fueron profesores en la misma. El análisis de estos materiales -- proporcionados fundamentalmente por Ibn al-Jaṭīb -- muestra que en la *madrasa* granadina se enseñó, ante todo, derecho, ciencias religiosas y disciplinas de carácter filológico y literario, pero está claramente documentado que, en ella, se enseñó también medicina: Ibn al-Jaṭīb afirma expresamente que la enseñó Abū Zakariyyā' Yaḥyà b. Aḥmad b. Hudayl al-Tuŷībī (m. 1352)[27], el cual también enseñó en la misma el *ᶜilm al-farā'iḍ*, ciencia de las particiones sucesorias íntimamente relacionada con la aritmética y la única disciplina científica, además de la medicina, cuya enseñanza está documentada en la *madrasa* granadina. Por otra parte, el matemático al-Qalaṣādī, en su *Riḥla*[28], nos informa de que, al regresar de su largo viaje -- por tanto después del 25 de Abril de 1451 -- estudió en la *madrasa* granadina con Abū Isḥāq Ibrāhīm b. Fatūḥ (m. 1463) con quien leyó la *Urŷūza* de Ibn Sīnā sobre la medicina, además de otras obras sobre temas no científicos. En lo que respecta a las restantes materias que nos interesan aquí no existe evidencia alguna de que fueran objeto de enseñanza en la *madrasa*: tanto ᶜĪsà como Cabanelas han recogido información sobre los profesores de la misma y varios de ellos son personajes que demostraron interés por las ciencias exactas o incluso por la tecnología, pero las fuentes no afirman en ningún caso que plasmaran este interés en cursos implantados en la *madrasa*. Sólo tenemos, a este respecto, un indicio que nos proporciona al-Qalaṣādī al hablar de su maestro Ibn Fatūḥ, antes mencionado, ya que nos dice que había escrito un libro sobre el astrolabio y una *urŷūza* sobre la azafea *šakkāziyya* (cf. *supra* § 3.3.3.3). Ahora bien, una de las obras que escribió el propio Qalaṣādī y que no parece conservarse es, precisamente, un comentario a la *urŷūza* de Ibn Fatūḥ[29]: esto hace pensar en la posibilidad de que Qalaṣādī hubiera leido la *urŷūza* en la *madrasa* con su maestro y obtenido la correspondiente *iŷāza* (licencia

[27] M. ᶜAbd al-Ḥamīd ᶜĪsà, *Tārīj al-taᶜlīm* p. 407; D. Cabanelas, «La Madraza» pp. 37-38; R. Puig, «Dos notas sobre ciencia hispano-árabe a finales del siglo XIII en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb», *Al-Qanṭara* 4 (1983), 433-440 (cf. p. 437).

[28] Ed. M. Abū Aŷfān pp. 166-168.

[29] M. Abū Aŷfān, ed. de la *Riḥla* p. 46 del prólogo.

para la transmisión del texto), con lo que tendríamos el primer caso documentado de enseñanza de la astronomía en aquel centro.

6.2.3 EL *MĀRISTĀN* (HOSPITAL) DE GRANADA.

Nuestra información sobre los hospitales en al-Andalus es aún menor que lo que sabemos sobre las *madrasa*s. Los médicos andalusíes conocieron, evidentemente, la existencia de estas instituciones en Oriente y, de este modo, sabemos que Ibn ᶜAbdūn al-Ŷabalī se encontraba en el año 958 en Baṣra desde donde se trasladó a El Cairo, ciudad en la que dirigió (*dabbara*) el hospital fundado, hacia el 872, por Aḥmad b. Ṭūlūn. Ibn ᶜAbdūn regresó a Córdoba en el 971 y se convirtió en el médico de al-Ḥakam II[30] pero su experiencia hospitalaria no parece haber dado resultado alguno en lo que respecta a la introducción de la institución en al-Andalus como tampoco parecen haber tenido grandes ecos las experiencias similares de médicos andalusíes a partir del momento en que surgen los primeros hospitales en el Magrib a fines del siglo XII: Abū Isḥāq Ibrāhīm al-Dānī trabajó como administrador (*amīn*) en el hospital de Marrākuš fundado por el califa almohade al-Manṣūr hacia 1191 y murió durante el reinado de al-Mustanṣir (1213-1224), siendo sucedido en el cargo por sus hijos. Ya en época nazarí, el médico granadino Abū Tammām Gālib al-Šaqūrī (m. 1340) estudió en El Cairo y ejerció en el hospital de esta ciudad, así como también en Bugía, Granada y, finalmente en Fez, a donde fue invitado por el sultán meriní Abū-l-Ḥasan (1331-1351), el cual había restaurado el hospital de Fez, fundado por el califa almohade al-Manṣūr. Otro médico granadino, Muḥammad ibn al-Qāsim al-Qurašī (1303-1356) fue, asimismo, director del hospital de Fez entre 1353 y 1356 y el mismo cargo fue ocupado, muy a fines

[30] Ibn Ŷulŷul, *Ṭabaqāt al-aṭibbā' wa-l-ḥukamā'*, ed. Fu'ād Sayyid, El Cairo, 1955, p. 115; trad. de J. Vernet, «Los médicos andaluces en el "Libro de las generaciones de médicos", de Ibn Ŷulŷul», E.H.C.M. p. 486; Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt* ed. Būᶜ Alwān pp. 191-192.; trad. Blachère p. 147.

del siglo XV, por Faraŷ al-Jazraŷī, miembro de la familia real granadina, durante el reinado de Muḥammad al-Waṭṭāsī (1471-1504)[31].

Toda esta serie de experiencias acumuladas a lo largo de los siglos no parecen haber dado fruto alguno hasta, tal vez, el siglo XIII: si se confirma la hipótesis de J. Vernet, cuando Jaime I entró en Valencia en 1238, la ciudad dispondría ya de un hospital[32]. Ahora bien, el único dato seguro — aunque envuelto en la bruma — es la fundación del *māristān* de Granada por Muḥammad V, al que, al igual que en el caso de la *madrasa*, se le asignaron las rentas de un *waqf*. Esta fundación se produce tras el retorno del monarca de su exilio en Fez (1359-1361) lo que plantea la posibilidad de que Muḥammad V se hubiera visto influido por el conocimiento directo del hospital de la capital marroquí. Según la lápida fundacional conservada, la construcción del *māristān* de Granada duró menos de dos años (de octubre 1365 a junio de 1367) lo que hace pensar en un aprovechamiento de un edificio anterior, realizado con todo lujo de acuerdo con el testimonio de Ibn al-Jaṭīb[33] y con la evidencia arqueológica[34]. Muḥammad V debió añadir un piso al preexistente dando como resultado una estructura — a base de patio central con alberca, rodeado por naves en sus cuatro lados, abiertas al patio y cerradas al exterior— similar a la que aparece en los *funduqs* o alhóndigas y en las *madrasas* lo que nada tiene de particular ya que una de las finalidades de todos estos edificios es precisamente la de dar albergue a viajeros, estudiantes o enfermos. De acuerdo, de nuevo, con la lápida fundacional, el monarca granadino «ordenó construir este hospital como prueba de gran compasión para los enfermos musulmanes po-

[31] Tomo todos estos datos de M. Castells, «Médecins andalous au Maghreb. Siècles VII-IX/XIII-XV». Comunicación presentada al Coloquio Hispano-Marroquí de Estudios Históricos (Granada, 1989), en curso de publicación.

[32] J. Vernet, *La ciencia en al-Andalus*, Sevilla, 1986, pp. 100-102; véase también su artículo «La introducción de los manicomios en España», en curso de publicación en el *Boletín de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona*.

[33] Ibn al-Jaṭīb, *al-Iḥāṭa fī ajbār Garnāṭa*, ed. M. ᶜAbd Allāh ᶜInān II, El Cairo, 1974, pp. 50-51.

[34] L. Torres Balbás, «El māristān de Granada», *Al-Andalus* 19 (1944), 481-498; J.A. García Granados, F. Girón Irueste y V. Salvatierra Cuenca, *El maristán de Granada, un hospital islámico*, Granada, 1989, donde se encontrarán las referencias bibliográficas a otros estudios arqueológicos. Muy reciente es el trabajo de J.A. García Granados y V. Salvatierra, «Un edificio "rehabilitado" en el siglo XIV: el māristān de Granada», *Homenaje a Manuel Ocaña Jiménez*, Córdoba, 1990, pp. 107-119.

bres» lo que hace pensar, en principio, en un centro asistencial de carácter general a no ser por las razones siguientes: 1) cuando los Reyes Católicos entraron en la ciudad, el edificio estaba ocupado por enfermos mentales y siguió dedicado a esta función hasta 1495; 2) las ocho naves del edificio dedicadas al alojamiento de los enfermos estaban compartimentadas en una cincuentena de pequeñas celdas de 2.5 m x 2.5 m. y esto hace pensar en la necesidad de aislar a unos enfermos de otros, lo que casa bien con la hipótesis de que se tratara de enfermos mentales; 3) no conozco ninguna referencia en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb, a que uno solo de los médicos granadinos prestara sus servicios en este hospital, que éste sirviera de centro de enseñanza de la medicina o de que fuera visitado por los médicos extranjeros de visita en Granada. No parece que hubiera en este centro asistencia médica de ningún tipo, lo que hace pensar en un centro de reclusión de alienados más que en un hospital. Si hubo un hospital en la Granada Nazarí[35] no debió ser el célebre *māristān*.

6.3 CIENCIAS Y TECNOLOGIA EN LA GRANADA NAZARI.

6.3.1 GENERALIDADES.

Para establecer cuáles son las líneas generales del desarrollo de la ciencia en la Granada Nazarí, la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb (m. 1374), diccionario biográfico de personajes granadinos o que pasaron por Granada puede constituir una buena guía[36]. Una primera constatación es el escaso peso específico que tienen los científicos dentro del total de personajes biografiados (a conclusiones similares se llegaría, probablemente, con un análisis estadístico semejante aplicado a otros períodos): de un total de 493 biografías -- comprendidas entre los siglos IX y XIV -- sólo 58 (apenas un 12 %) están directa o indirec-

[35] Cf. las notas de F. Girón en J.A. García Granados *et al.*, *El Maristan de Granada* pp. 87-88 sobre el *Hospital General* u *Hospital de Moriscos* no mencionado en las fuentes árabes y sí por los historiadores posteriores a la conquista.

[36] Estos materiales han sido analizados por R. Puig en «Ciencia y técnica en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb. Siglos XIII y XIV», *Dynamis* 4 (1984), 65-79; «Dos notas sobre ciencia hispano-árabe a fines del siglo XIII en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb», *Al-Qanṭara* 4 (1983), 433-440. Utilizo, además, su trabajo inédito *Noticias sobre ciencia y técnica en la* Iḥāṭa *de Ibn al-Jaṭīb*.

tamente relacionadas con la ciencia y, de ellas, 47 corresponden al período (siglos XIII y XIV) que nos interesa aquí, dentro del cual la fase de máxima actividad corresponde al siglo XIV -- indudablemente el que Ibn al-Jaṭīb conocía mejor -- con 35 referencias.

Si aplicamos este análisis estadístico a las disciplinas científicas, veremos, sin sorpresa, que la materia científica que más interesa a los granadinos es, sin duda, la medicina (34 referencias) que siempre aparece estrechamente unida a la Botánica-Farmacología: los 5 botanistas que menciona Ibn al-Jaṭīb son también médicos. Siguen las matemáticas con un total de 21 referencias que aluden tanto a las matemáticas en general (*riyāḍiyyāt*, 1) como a la aritmética (*ᶜadad* y *ḥisāb*, 11) y a la geometría tanto práctica (*misāḥa*, agrimensura, 2) como teórica (*handasa*, 5). Terminamos, dentro de las ciencias exactas, con la astronomía (11 referencias) dentro de la cual Ibn al-Jaṭīb distingue entre la astronomía matemática, dedicada al cálculo de las posiciones planetarias (*taᶜdīl*), la «astrofísica» o cosmología (*hay'a*) y la construcción de instrumentos astronómicos. Sólo en un caso encontramos una referencia expresa a la astrología (*aḥkām al-nuŷūm*) aunque, desde luego, no debe tomarse esto en sentido literal ya que astronomía y astrología estaban, como siempre, estrechamente ligadas y, como veremos (§ 6.3.2.2.1), se seguían levantando horóscopos en la corte granadina. Un último apartado estaría constituido por las ciencias ocultas, o sea la Magia (5 referencias), la Alquimia (2) y la Oneirología (1).

6.3.2 LAS CIENCIAS EXACTAS.

6.3.2.1 *La matemática.*

Al igual que sucede en toda la historia de la ciencia andalusí, también en esta etapa las realizaciones en el campo de la astronomía adquieren mucho más interés que en el de la matemática. Las referencias que da Ibn al-Jaṭīb, y que hemos visto en el apartado anterior (§ 6.3.1), a un número de matemáticos granadinos mayor que el de astrónomos no debe hacernos concebir falsas esperanzas dada la escasez de fuentes matemáticas. Los datos de Ibn al-Jaṭīb no permiten establecer un árbol genealógico de maestros y discípulos, en el campo de la matemática, como los que ha construido Roser Puig para la Medecina y la Astronomía: parece, pues, que no existieron escue-

las de matemáticos. Entre los que cultivaron esta disciplina sólo pueden mencionarse dos nombres, el primero de los cuales resulta enormemente dudoso: el algebrista Ibn Badr (?) y el aritmético y algebrista al-Qalaṣādī (c. 1412-1486), ya mencionado en § 6.1, que es, sin duda, el último científico andalusí de una cierta importancia.

En lo que respecta al primer matemático citado, sólo conocemos su nombre, Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. ᶜUmar b. Muḥammad conocido por Ibn Badr, y el título de una obra suya, *Ijtiṣār al-ŷabr wa-l-muqābala* («Compendio de Algebra»)[37], conservada en un manuscrito de El Escorial escrito, según su editor, con letra andalusí y fechado en 1344. La única autoridad citada en el texto es el matemático, de origen egipcio, Abū Kāmil [Šuŷāᶜ b. Aslam al-Miṣrī] (c. 850- c. 930), lo cual nos da un *terminus post quem* excesivamente lejano. El texto constituye un tratado elemental de álgebra estructurado en una introducción teórica seguida por una colección de problemas, tomados en buena parte de al-Jwārizmī o de Abū Kāmil: el nivel del mismo llega sólo a las ecuaciones de segundo grado y no supera, en modo alguno, el tipo de álgebra que se cultivaba en Oriente en los siglos IX y X. Tiene interés, no obstante, el subrayar que en él se plantean ecuaciones indeterminadas de tipo diofántico. Cuando Sánchez Pérez editó esta obra en 1916 sólo se conocía la exposición de este tipo de ecuaciones que llevó a cabo, en Oriente, al-Karaŷī (m. entre 1019 y 1029), lo que llevó al editor a sugerir que Ibn Badr debía pertenecer al siglo XII o al XIII. De hecho hoy sabemos que el *Algebra* de Diofanto fue conocida en el mundo árabe oriental mucho antes de al-Karaŷī y que el propio Abū Kāmil escribió ampliamente sobre ecuaciones indeterminadas. Lo único claro es, pues, que hay que situar a Ibn Badr entre la segunda mitad del siglo X y 1344. No hay seguridad ninguna de que se trate de un científico andalusí, aunque sí parece que su tratado de Algebra debió ser copiado en el reino de Granada y esta es la razón que me mueve a incluirlo en este apartado. Convendría, sin duda, una relectura de este texto a la luz de lo que hoy sabemos acerca del desarrollo del Algebra tanto en Oriente como en el Norte de Africa con el fin de situarlo mejor

[37] Cf. la ed., trad. y estudio de J.A. Sánchez Pérez, *Compendio de Algebra de Abenbéder*, Madrid, 1916. Véase la valoración que hace A. Djebbar, «Quelques aspects de l'Algèbre dans la tradition mathématique arabe de l'Occident Musulman», *Premier Colloque International d'Alger sur l'Histoire des Mathématiques Arabes*, Argel, 1988, pp. 108-111.

dado que, en el caso de demostrarse que se trata de un autor andalusí, el *Ijtiṣār fī-l-ŷabr wa-l-muqābala* sería uno de los escasos tratados conocidos sobre esta disciplina elaborados en al-Andalus.

Mucho más interesante resulta la figura de Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. Muḥammad b. ᶜAlī al-Basṭī al-Qalaṣādī[38] sobre cuya biografía disponemos de bastantes datos gracias a la nota que le dedica al-Maqqarī[39] y, sobre todo, al relato que él mismo hace en su *Riḥla*, a la que ya me he referido en § 6.1. Nació hacia 1412 en Baza y lo que llama más poderosamente la atención al analizar tanto la lista de sus obras como la de los 33 maestros - que él mismo cita en su *Riḥla*- cuyos cursos siguió en Baza, a lo largo de su periplo y en Granada, es que no se trata exclusivamente de un matemático. Desde el primer momento se interesa por la aritmética y por la ciencia de la partición de herencias (*farā'iḍ*) pero también por el derecho, la recitación y el comentario coránico, el *ḥadīṯ* y la lengua árabe. El catálogo de sus obras[40] incluye 8 sobre Aritmética, una sobre Astronomía, 7 sobre *Farā'iḍ* (sin contar 5 comentarios), 4 de Derecho, 4 de Gramática, 2 de Prosodia, 1 de Lógica, 3 sobre temas místicos y alabanza del Profeta y 2 sobre lecturas coránicas y *ḥadīṯ*. Pese a ello, su discípulo Abū Ŷaᶜfar Aḥmad b. ᶜAlī al-Balawī, que aprendió con él aritmética y partición de herencias, lo considera el hombre más experto de su tiempo en estas dos disciplinas. Esta dispersión entre estudios jurídico-religiosos y matemáticos debía ser frecuente en su tiempo: el propio Qalaṣādī nos refiere que su maestro Muḥammad b. al-Naŷŷār, cuyos cursos sobre *farā'iḍ* siguió en la *Madrasa Yaᶜqūbiyya* de Tremecén, enseñaba derecho, comentarios coránicos y *ḥadīṯ* en invierno, mientras que en verano se dedicaba a explicar aritmética, geometría y particiones sucesorias[41].

Pese a que, como veremos, la importancia de la figura de al-Qalaṣādī ha sido hipertrofiada por la erudición europea hasta fecha reciente, dentro de un panorama tan pobre como el de la ciencia nazarí o incluso -- con excepciones -- el de la matemática andalusí,

[38] O tal vez Qalṣādī (posiblemente un nombre romance derivado de *calzada*) tal como sugiere H.P.J. Rénaud, «Sur l'origine du nom d'al-Qalaṣādī», *Isis* 36 (1945-46), 69-70.

[39] Al-Maqqarī, *Nafḥ* II, 292-294.

[40] Cf. la introducción de M. Abū Aŷfān a su ed. de la *Riḥla* pp. 40-46.

[41] Qalaṣādī, *Riḥla*, ed. M. Abū Aŷfān pp. 103-104.

se trata de un personaje de primera fila[42]. En la última etapa de su vida se vio obligado a abandonar al-Andalus, bien sea por el peligro de la conquista cristiana -- tal como sugiere al-Maqqarī -- bien debido a las rencillas internas en el seno del reino de Granada: en 1483 aparece como uno de los firmantes de la *fatwà* de los ulemas de al-Andalus en la que se condena la rebelión de Abū ᶜAbd Allāh (Boabdil) contra su padre y, al consolidarse la posición del último monarca nazarí, al-Qalaṣādī pudo verse forzado a cruzar el Estrecho para residir, durante los últimos años de su vida en Tremecén y en Bāŷa (Túnez) donde murió en 1486 o, tal vez, en 1506.

La *Riḥla* de al-Qalaṣādī es un texto excepcional en cuanto se trata de uno de los escasísimos documentos en que un científico medieval expone la historia de sus años de formación. A pesar de su carácter, en cierto modo, frío e impersonal (lo que le interesa es, ante todo, es dar la lista de sus maestros y de obras que ha leido con ellos) propio de un documento que es, al mismo tiempo, un expediente académico y un *curriculum vitae*, la *Riḥla* aclara bastante acerca de la forma de vivir y viajar de los hombres cultos en la Baja Edad Media Islámica. Siempre que puede viaja en barco y la *Riḥla* anota cuidadosamente el número de días de cada travesía, por lo que contiene información útil para la historia de la navegación mediterránea en el siglo XV. También, cuando puede, se aloja en una *madrasa* o en una *zāwiya* de una cofradía mística tanto por períodos de tiempo largos como cortos: así, en el viaje de ida, reside un año en la *Madrasa Ŷadīda* de Túnez, situada en el barrio de Bāb Suwayqa, a la que regresará durante otro año en su viaje de vuelta; permanece también año y medio en la *Madrasa Muntaṣiriyya* de Túnez, próxima a la célebre mezquita Zītūna; en Trípoli se aloja unos días en la *madrasa* de Ibn Ṯābit y, en El Cairo algo más de un año en la *zāwiya* de Ibn Abī-l-Wafā'. Indudablemente las *madrasas*, como otras instituciones similares en el mundo moderno, debían ofrecer un alo-

[42] Como introducciones generales al personaje cf. M. Souissi, «ᶜĀlim riyāḍī andalusī. Al-Qalaṣādī», *Ḥawliyyāt al-Ŷāmiᶜa al-Tūnisiyya* 9 (1972), 33-49; id., «Un mathématicien tuniso-andalou: al-Qalaṣādī», *Actas del II Coloquio Hispano-Tunecino de Estudios Históricos*, Madrid, 1973, pp. 147-169; A.S. Saidan, «Al-Qalaṣādī», *D.S.B.* XI, Nueva York, 1975, 229-230; A. Ŷabbār, «al-Qalaṣādī: ᶜālim andalusī-magribī min al-qarn al-jāmis ᶜašar», *Al-ᶜilm wa-l-tiknūlūŷiyā (Revue Arabe des Technologies*, París 1, nº 9, Julio, 1990, pp. 12-23.

jamiento barato y, de manera especial, la seguridad de encontrar un ambiente de gentes cultas, útiles para los propósitos del viaje.

Durante su *riḥla*, al-Qalaṣādī no se limita a estudiar con todos los maestros que puede sino que también da cursos, forma discípulos y escribe: ha salido de Baza con unos veinticinco años y regresará a su ciudad natal con unos cuarenta, con lo que, sin duda, ha alcanzado su madurez científica a lo largo de su viaje. Cuando todavía vivía en Baza, su primer maestro en Matemáticas, le hizo leer el *Talǰīṣ aᶜmāl al-ḥisāb* («Compendio de operaciones aritméticas») de Ibn al-Bannā' (1256-1321)[43] -- el matemático marroquí seguidor, en astronomía, de Azarquiel al que me he referido en § 3.3.4 y en § 3.3.6 -- y la influencia de este autor será una constante a lo largo de toda su vida: volverá a leer el mismo *Talǰīṣ*, así como algunas obras algebraicas del mismo autor, en Tremecén con el matemático Abū-l-Ḥaŷŷāŷ Yūsuf b. Ismāᶜīl al-Zaydūrī, y acabará por escribir un importante comentario al *Talǰīṣ*[44] así como varias otras obras relacionadas con el libro de Ibn al-Bannā' como *al-Tabṣira fī ᶜilm al-ḥisāb* («Clarificación de la ciencia de la Aritmética»), que fue objeto de dos simplificaciones ulteriores tituladas *Kašf al-ŷilbāb ᶜan ᶜilm al-ḥisāb* («Supresión de los velos que ocultan la ciencia de la Aritmética»)[45] -- con una parte de Aritmética y otra de Algebra; esta obra fue escrita en Tremecén al igual que otras dos sobre aritmética y particiones sucesorias -- y *Kašf al-asrār ᶜan waqᶜ ḥurūf al-gubār* («Desvelamiento de los secretos acerca del uso de la numeración decimal»)[46].

En el estado actual de nuestros conocimientos, esta exposición sobre Qalaṣādī podría fácilmente convertirse en una lista de títulos,

[43] Ed. de M. Souissi, Túnez, 1969.

[44] F. Woepcke, «Passages relatifs à des sommations de séries de cubes, extraits de trois manuscrits arabes inédits de la Bibliothèque Impériale», *Annali di scienze matematiche e fisiche compilati de Barnaba Tortolini* 5 (1863), 147-155. Reimpresión en F. Woepcke, *Etudes sur les mathématiques arabo-islamiques*, 2 vols. Frankfurt, 1986, II, pp. 476-484.

[45] Cf. F. Woepcke, «Notice sur quelques manuscrits arabes relatifs aux Mathématiques, et récemment acquis par la Bibliothèque Impériale», *Journal Asiatique* 19 (1862), 110-112. Reimpr. en Woepcke, *Etudes* II, 246-248; «Passages rélatifs à des sommations...» (cit.) pp. 165-169. Reimpr. en *Etudes* II, 494-498.

[46] Obra traducida por F. Woepcke, «Traduction du traité d'arithmétique d'Aboûl-Haçan Ali Ben Mohammed Alkalçadi», *Atti dell'Accademia Pontificia de' Nuovi Lincei* 12 (1858-59), 230-275. Reimpresión en *Etudes* II, 1-46. Esta obra ha sido editada y traducida, de nuevo, al francés por M. Souissi (Cartago, Túnez, 1988).

lo que no es mi intención hacer. Puede, en cambio, pasarse revista a las presuntas aportaciones originales que la crítica europea, desde mediados del siglo pasado, ha atribuido a este matemático como la de ocuparse de sumatorios de series de cuadrados (Σn^2) y de cubos (Σn^3), tema que trataron, antes de él, Abū Manṣūr al-Bagdādī (m. 1037) y al-Umawī al-Andalusī (fl. s. XIV)[47]. Más interés tiene, en cambio, la utilización por nuestro matemático del método de aproximaciones sucesivas para obtener las raíces de cuadrados imperfectos[48]. Aquí Qalaṣādī parte de una aproximación de tradición clásica que establece que:

$$(a^2 + r)^{1/2} \approx a + r/2a \quad [1]$$

Ibn al-Bannā' sustituyó esta aproximación por:

$$(a^2 + r)^{1/2} \approx a + r/(2a+1) \quad [2]$$

Finalmente, al-Qalaṣādī mostró la mayor aproximación de [1] para $r \leq a$. En cambio, para $r > a$ introduce la nueva aproximación:

$$(a^2 + r)^{1/2} \approx a + (r+1)/2(a+1) \quad [3]$$

En este campo tenemos, pues, una posible aportación original de Qalaṣādī dentro de una escuela de pensamiento muy concreta que es precisamente aquella en la que nuestro matemático se encuentra enmarcado.

Un tercer título de gloria de nuestro autor — en el que su originalidad es indefendible ya que fue precedido por autores orientales y, en el Magrib, por el marroquí Ya^{c}qūb b. Ayyūb (fl. c. 1350) y por el argelino Ibn Qunfūḏ (m. 1407)[49] — es el haber introducido el

[47] Cf. el trabajo de Woepcke, «Passages relatifs à des sommations...» ya citado.

[48] F. Woepcke, «Notice sur des notations algébriques employées par les Arabes», *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences* 39 (1854), 348-384 (cf. pp. 383-384). Reimpresión en Woepcke, *Etudes* I, 445-481 (cf. pp. 480-481).

[49] H.P.J. Rénaud, «Sur un passage d'Ibn Khaldûn rélatif à l'histoire des mathématiques», *Hespéris* 31 (1944), 35-47.

simbolismo algebraico[50]. En efecto, en lugar de expresar una ecuación mediante palabras formando frases del tipo «Cuatro propiedades menos treinta y seis son igual a treinta y dos cosas menos una propiedad» ($4x^2 - 36 = 32x - x^2$), introduce letras y palabras breves que tienen valor simbólico. De esta manera emplea:

- *š* o los tres puntos diacríticos de la letra *š* para designar la *x*. *š* es la inicial de la palabra *šay'* (cosa) que en el lenguaje algebraico no simbólico designa también una incógnita (x) elevada a la potencia 1.

- *m* (inicial de *māl*, «propiedad») designa, como *māl*, una incógnita elevada al cuadrado (x^2).

- *k* (inicial de *ka^{c}b*, «cubo») corresponde a x^3.

- *l* (letra final de *ya^{c}dil*, «es igual») corresponde al signo =.

- *ŷ* (inicial de *ŷaḏr*, «raíz») se utiliza para la raíz cuadrada. Obsérvese que la forma de la letra *ŷ* se asemeja mucho al signo > y que, por tanto, el signo √ podría ser el resultado de la rotación de 90º de la letra *ŷ*.

- La conjunción copulativa *wa* («y») desempeña la función del signo +.

- La particula *illā* («excepto») corresponde al signo −.

- La preposición *fī* («en») corresponde al signo de multiplicación (x).

- La preposición *^{c}alà* («sobre») al signo de división.

[50] Cf. p.ej. A.P. Youschkevitch, *Les Mathématiques Arabes (VIII^e-XV^e siècles)*, París, 1976, pp. 103-104. Woepcke («Notice sur des notations algébriques» cit.) parece haber sido el primero en subrayar el uso de un simbolismo algebraico por parte de Qalaṣādī pero se muestra muy prudente en sus conclusiones y sugiere que, en este tipo de notación, fue precedido por otros autores como el propio Ibn al-Bannā', que ya Gerardo de Cremona -- en el siglo XII -- había traducido un texto algebraico árabe que utilizaba esta notación y, finalmente, que existe un embrión de la misma en el *Algebra* de Diofanto.

De acuerdo con el simbolismo de Qalaṣādī, la expresión $4x^2 - 36 = 32\ x - x^2$ que antes comentaba se expresaría:

m			*š*		*m*
4	*illā* 36	*l*	32	*illā*	1

Señalaré, por último, al-Qalaṣādī utilizó, tanto en sus tratados aritméticos como en sus escritos sobre particiones sucesorias, un simbolismo idéntico al moderno para representar las fracciones: el numerador encima del denominador encontrándose ambos separados por un trazo horizontal. En conjunto, pese a lo imperfecto de nuestro conocimiento de su obra, figuras como las de al-Qalaṣādī son absolutamente excepcionales dentro del panorama decadente de la ciencia nazarí. Lo mismo podremos decir de los astrónomos Ibn al-Raqqām e Ibn Bāṣo, de los que voy a ocuparme en el apartado siguiente.

6.3.2.2 *La astronomía.*

6.3.2.2.1 Horóscopos.

He mencionado ya en § 6.3.1 que la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb ofrece suficientes datos como para aceptar un discreto cultivo de la astronomía durante este período. Dos son las aplicaciones que sigue teniendo esta disciplina, al igual que en las restantes etapas de la historia de al-Andalus: por una parte la astrología y, por otra, el *mīqāt*. En lo que respecta a la primera, sabemos que se siguen levantando horóscopos: así Ibn al-Jaṭīb nos dice de Aḥmad b. Muḥammad b. Yūsuf al-Anṣārī que era buen astrólogo y experto en el cálculo de las ecuaciones planetarias y en el manejo de tablas astronómicas[51] y que indicó a Muḥammad VI el Bermejo (1360-1362) el momento propicio para rebelarse contra Muḥammad V y, más tarde,

[51] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. M. ᶜAbd Allāh ᶜInān I, 205-206. En esta edición leo *ṣināᶜat al-taᶜdīl* (arte del cálculo de las ecuaciones) *wa-ǧadāwil al-abrāǧ* (tablas de los signos zodiacales). ᶜInān ha optado por leer *abrāǧ* en lugar de *aryāḥ* documentado en otros manuscritos: la lectura correcta es, sin duda, *azyāǧ* (plural de *zīǧ*, tabla astronómica).

predijo también el momento en que éste último recuperaría la corona en 1362. Los horóscopos no se aplicaban exclusivamente a los monarcas ya que sabemos que, en tiempo de Ismāʿīl II (1359-1360) se levantó el del ministro Muḥammad al-Fihrī en el momento en el que accedió a su cargo y se cumplió el pronóstico poco feliz que había predicho el astrólogo[52]. En una ocasión, los datos que ofrece Ibn al-Jaṭīb son algo más precisos, con lo que nos permite valorarlos a efectos de poder comprobar cuál era la calidad del trabajo que realizaban los astrólogos palaciegos. Me refiero al horóscopo natalicio de Muḥammad V (1354-1359 y 1362-1391) del que reproduzco, *in extenso*, lo que sobre él nos dice Ibn al-Jaṭīb[53]:

> Su nacimiento, en el momento oportuno y de buen augurio tuvo lugar aproximadamente en el primer tercio de la noche del [lunes][54] 22 de ŷumādà II del año 739. Coincide en el calendario cristiano con el 4 de enero del año 1377 de la Era Hispánica [1339 de J.C.][55]. El cálculo de la ecuación astronómica según Claudio[56] Ptolomeo determinó que el ascendente estaba en el signo de la Luna y que ésta era gobernante de los lugares en que ocurrió la oposición con el Sol que precedió al nacimiento. Se puede conjeturar que éste ocurrió en la hora sexta y veintitres minutos de la noche. El ascendente estaba a 15º 48' de Virgo.

El texto de Ibn al-Jaṭīb, pese a su aparente precisión, plantea problemas empezando por la fecha, ya que no sabemos exactamente si se

[52] R. Puig, «Ciencia y técnica» pp. 72 y 75.

[53] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. M. ʿAbd Allāh ʿInān II, 91. La traducción que transcribo aquí es de R. Puig.

[54] El texto editado lleva *laylat al-iṯnayn wa-l-ʿišrīn* (noche del 22) pero más adelante aparece una clara referencia a que era lunes. Entiendo por ello que habría que suplir un *al-iṯnayn* (lunes) de más.

[55] De hecho el 22 de *ŷumādà* II del 739 H. corresponde al 5 de Enero de 1339, que era martes. El 4 de Enero, obviamente, era lunes tal como dice Ibn al-Jaṭīb.

[56] El *ductus* consonántico del texto editado es QYMWD' que no tiene sentido y lo enmiendo así.

trata del 4 o 5 de Enero. No entiendo por qué dice que el ascendente (Virgo) está en el signo de la Luna. Sí tiene sentido, en cambio, el que afirme que la Luna «era gobernante de los lugares en que ocurrió la oposición con el Sol que precedió al nacimiento» ya que, en esta época del año, el Sol se encuentra necesariamente en Capricornio que es el domicilio de la Luna. Por otra parte, parece claro que Ibn al-Jaṭīb, probablemente con ayuda de un astrólogo, está intentando utilizar los datos de un horóscopo — de los que sólo transcribe una pequeña parte — para determinar la hora del nacimiento de Muḥammad V y la establece como transcurridos 23 minutos de la sexta hora. Se trata, obviamente, de horas y minutos «temporales»[57], no «iguales» o equinocciales e implican, por consiguiente una hora próxima a la medianoche, lo que está en abierta contradicción con su afirmación anterior de que Muḥammad V nació «aproximadamente en el primer tercio de la noche». Veremos, enseguida, que esto nos fuerza a una corrección del texto.

El 4 de Enero de 1339 el Sol se encontraba en una longitud de unos 292°. Operando con una oblicuidad de la eclíptica de 23;30° y una latitud de Granada de 37;30°, frecuente en las fuentes medievales, podemos calcular fácilmente que la puesta del sol tendría lugar ese día a las 16 horas 49 minutos, y que la «hora sexta y veintitres minutos [temporales]» corresponde a las 23 horas y dieciséis minutos según nuestro sistema de cómputo del tiempo. Con estos datos podemos calcular el ascendente[58] y obtendremos que su longitud es de 190;21° frente a los 165;48° de Ibn al-Jaṭīb, un resultado claramente inaceptable. En cambio, si aceptamos que existe un error en el texto y que la hora no es la *sexta* sino la *cuarta* después de la puesta de sol, con lo que permaneceríamos dentro del primer tercio de la noche, estaríamos entonces a las 20 horas y 52 minutos y el ascendente calculado sería de unos 161°, mucho más próximo al que nos transmite Ibn al-Jaṭīb. Resulta difícil lograr una mejor aproximación con unos datos tan deficientes y, sobre todo, desconociendo las tablas astronómicas utilizadas así como sus parámetros básicos. La

[57] Las horas temporales diurnas o nocturnas son el resultado de dividir la duración del día o de la noche en doce partes iguales.

[58] Utilizo el programa de ordenador de J.D. North, *Horoscopes and History*, Londres, 1986, pp. 197-218.

conclusión es que, aceptando esta corrección, no hay motivos para creer que el horóscopo de Muḥammad V estuviera mal calculado.

6.3.2.2.2 *Mīqāt* e instrumentos astronómicos.

He mencionado ya, en § 2.4, los escasísimos datos de que disponemos acerca del desarrollo del *mīqāt* (astronomía aplicada al culto islámico) en al-Andalus y merece la pena señalar aquí que la etapa granadina aporta algunas novedades importantes. Así, Ibn al-Jaṭīb señala que Muḥammad al-Qallūsī (m. 1308) escribió una excelente obra sobre el movimiento del sol, la determinación del momento del alba y de las horas (*awqāt*) [de la oración][59], que probablemente era un tratado de *mīqāt*. Mucho más importante resulta el hecho de que la Granada Nazarí vea aparecer los primeros casos documentados de la profesión de *muwaqqit*, astrónomo al servicio de una mezquita y encargado de problemas tales como la determinación de las horas de la oración o del acimut de la alquibla. Por más que el tema no se ha estudiado, parece que la aparición de esta profesión es tardía en todo el orbe islámico y se desarrolló, probablemente, mucho más en Oriente que en al-Andalus: así, vemos que un astrónomo de primerísima fila como Ibn al-Šāṭir (1306-1375) fue *muwaqqit* en la mezquita de los Omeyas de Damasco y que dejó allí su huella en la forma del magnífico cuadrante solar que aún se conserva[60]. Del mismo modo, el anónimo autor egipcio (fl. 1323) del *Kanz al-yawāqīt*, tratado de *mīqāt* conservado en el ms. Leiden 468, citado frecuentemente a lo largo de este libro, era *muwaqqit* en la mezquita de ᶜAmr en El Cairo, como también lo fueron su tío paterno (Muḥammad al-Ŷadd), su abuelo (Muḥammad al-Waŷīh, m. 1301) y su bisabuelo (Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. ᶜAbd al-Malik b. Simᶜūn, m. 1284)[61]: tenemos aquí un ejemplo de un cargo que se transmite dentro de la misma familia, lo cual debió ser bastante frecuente. Es, sin duda, el caso de Ḥasan (probablemente Ḥusayn) b. Muḥammad b. Bāṣo (m. 1316), que fue jefe de

[59] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān III, 75-76.

[60] Cf. E.S. Kennedy e I. Ghanem (eds.), *The Life and Work of Ibn al-Shāṭir. An Arab Astronomer of the Fourteenth Century*, Alepo, 1976.

[61] Ms. Leiden 468 fol. 180 vº. Cf. M. Castells, «A 14th Century Egyptian *Muwaqqit* interested in Andalusian Astronomy. *XVIIIth International Congress of History of Science. Abstracts*, Hamburgo-Munich, 1989, sección P2 nº 16.

los *muwaqqits* de la mezquita aljama de Granada, y de su hijo Aḥmad b. Ḥasan (probablemente Ḥusayn) b. Bāṣo (m. 1310), que también fue *muwaqqit* de la misma mezquita[62]. Un primer dato a constatar es que la mezquita aljama de Granada debía tener un auténtico equipo de profesionales de esta índole a su servicio ya que el primero de los dos astrónomos mencionados era el jefe del mismo. Es posible que Ḥasan fuese también el autor del tratado sobre la «lámina para todas las latitudes» al que me referiré en este mismo apartado pero los manuscritos registran importantes cambios en su nombre. En caso de que no se trate del mismo personaje era, sin duda, un miembro de su familia que ejerció también la profesión de *muwaqqit*. Esta nueva posibilidad profesional para los astrónomos no debió limitarse al siglo XIV y al caso de los Banū Bāṣo ya que, en el siglo siguiente, conocemos un nuevo ejemplo de la misma índole: Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. Mūsà b. ᶜUbayd Allāh al-Lajmī, conocido por al-Qarabāqī (m. en la peste de 1440), uno de los maestros de al-Qalaṣādī[63], fue también *muwaqqit*, probablemente en Baza, y mantuvo una polémica con el *imām* y *muftī* de Granada Abū-l-Qāsim b. Sirāŷ sobre la cuestión de la orientación de la alquibla en las mezquitas andalusíes, las cuales apuntaban hacia el sur[64]: la orientación de la mezquita de Córdoba (cf. § 2.4.1) creó, sin duda, un precedente que fue repetidamente imitado y es un problema que, por lo que se ve, aún se discutía en la primera mitad del s. XV.

De Ḥasan b. Muḥammad b. Bāṣo nos dice Ibn al-Jaṭīb que era constructor de instrumentos astronómicos tanto los que utilizan las sombras (*al-aẓlāl*) como los instrumentos que miden a partir de los rayos de luz proyectados por un astro (*al-ālāt al-šuᶜāᶜiyya*)[65]. De entre los primeros menciona explícitamente los cuadrantes solares--en cuya construcción destacaron tanto Ḥasan como su hijo Aḥmad--

[62] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān I, 468 y 204 respectivamente. Cf. H.P.J. Rénaud, «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. Les Ibn Bāṣo», *Hespéris* 24 (1937), 1-12.

[63] Qalaṣādī, *Riḥla* ed. M. Abū-l-Aŷfān pp. 87-92.

[64] Aḥmad Bābā, *Nayl al-ibtihāŷ bi-taṭrīz al-dībāŷ*. Ed. en los márgenes del *al-Dībāŷ al-muḏahhab* de Ibn Farḥūn, Beirut, *s.d.*, p. 207. Debo esta referencia a Margarita Castells.

[65] Véase la clasificación del instrumental astronómico que hace Azarquiel: cf. *supra* § 3.3.3.1.

y, en relación con este tema, hay que señalar que no conservamos ningún cuadrante de esta época pero sí un importante tratado, la *Risāla fī ᶜilm al-ẓilāl* («Epístola sobre la ciencia de las sombras»), escrito por Muḥammad ibn al-Raqqām al-Andalusī (m. 1315)[66], matemático, astrónomo, médico y alfaquí de origen murciano, que, posiblemente, debió abandonar Murcia cuando la ciudad fue conquistada por Alfonso X (1266) y se trasladó a Bugía (Túnez). En una fecha indeterminada se instaló en Granada, invitado por Muḥammad II (1273-1302) y en esta ciudad vivió hasta su muerte dedicado a la enseñanza de las Matemáticas, la Medicina y de los Fundamentos del Derecho (*uṣūl*). Su *risāla* sobre la manera de trazar cuadrantes solares resulta absolutamente excepcional dentro del panorama andalusí en el que, como hemos visto (cf. § 2.5.2.4), los hallazgos arqueológicos de instrumentos de este tipo no dan precisamente una idea muy halagüeña del nivel científico de los artesanos que los construyeron. Frente a este panorama, bastante desolador, de la gnomónica andalusí, la epístola de Ibn al-Raqqām -- escrita probablemente durante su estancia en Túnez -- constituye un tratado muy completo sobre el tema en la que el autor utiliza una técnica desconocida, hasta entonces, en al-Andalus: los cuadrantes solares se trazan mediante un *analemma*, método de tradición griega, ampliamente utilizado en el Oriente Islámico, que, recurriendo a técnicas gráficas rigurosamente exactas, representa en un plano ciertos elementos de la esfera con el fin de encontrar ciertos ángulos y arcos que determinan un punto en el espacio. Tal como indica Carandell, se efectúan, con esta finalidad, rotaciones y abatimientos de planos y círculos alrededor de ejes comunes a éstos y al plano sobre el cual se representan. Utilizando estos procedimientos, Ibn al-Raqqām explica cómo trazar los distintos tipos de cuadrantes: *horizontal* (el único tipo que ha sido encontrado en hallazgos arqueológicos), *vertical* (con el plano del cuadrante paralelo al primer vertical y el gnomon en la línea meridiana), *díptico vertical declinante* (compuesto por dos planos perpendiculares entre sí con la bisectriz del ángulo recto que forman situada en la dirección de la meridiana), *ecuatorial* (el plano del cuadrante es paralelo al del ecuador y el gnomon, perpendicular a él, se encuentra en la dirección del eje del mundo), *inclinado* (en un ángulo determinado con respecto al plano del horizonte y orientado al sur), *incli-*

[66] Cf. la edición, traducción y comentario de J. Carandell, Risāla fī ᶜilm al-ẓilāl *de Muḥammad Ibn al-Raqqām al-Andalusī*, Barcelona, 1988.

nado y *declinante* (inclinado con respecto al horizonte y orientado hacia una dirección cualquiera), *scaphe* (cuadrante trazado en una semiesfera hueca en la que el polo es la base del gnomon cuyo extremo coincidirá con el centro de la esfera) y, finalmente, un cuadrante portátil provisto de una aguja magnética que permite orientarlo adecuadamente. Se trata de una de las primeras referencias seguras al uso de la brújula en el contexto del Islam Occidental.

Por otra parte, Ibn al-Raqqām se plantea también problemas de transformación de cuadrantes solares o sea, a partir de un cuadrante construido para una latitud determinada, construir otro, de un tipo distinto, para la misma latitud. Asimismo señala cómo trazar, en el cuadrante plano, otras líneas (proyecciones de los paralelos de declinación correspondientes a los signos zodiacales y de los almucantarates o círculos de altura) que permiten utilizar el cuadrante solar para aplicaciones propias del astrolabio o la azafea y que exceden el uso habitual de la determinación de la hora. Siguiendo la tradición, Ibn al-Raqqām detalla con cuidado la manera de trazar las curvas que corresponden a las horas de la oración[67] y se ocupa, asimismo, de la determinación del acimut de la alquibla utilizando, para ello, un *analemma* muy similar a otro empleado en Oriente, en el siglo IX, por Ḥabaš al-Ḥāsib y, en el XI, por al-Bīrūnī en su *al-Qānūn al-Masᶜūdī*[68]. Sin pretender determinar si Ibn al-Raqqām utilizó una de estas dos fuentes o bien descubrió independientemente su *analemma*, recordemos sólo que los dos autores mencionados no constituyen una cita corriente en al-Andalus ni en el Magrib y que, dentro de la historia de la ciencia andalusí, sólo hemos encontrado a Ḥabaš dentro del tratado de astrolabio de Ibn al-Samḥ (cf. *supra* § 2.5.2.3) y a al-Bīrūnī en relación con la obra de Ibn Muᶜāḏ (§ 3.2 y § 3.3.2.2).

El tratado de Ibn al-Raqqām sobre cuadrantes solares constituye el primer indicio de que disponemos acerca del interés que los astrónomos granadinos sintieron por el desarrollo del instrumental astro-

[67] J. Carandell, «Trazado de las curvas de oración en los cuadrantes horizontales en la *Risāla fī ᶜilm al-ẓilāl* de Ibn al-Raqqām», *Dynamis* 4 (1984), 23-32. Las ilustraciones de este artículo son las que aparecen en las páginas 85, 91 y 100 del mismo tomo de la revista: cf. J. Samsó, «Corrigendum», *Dynamis* 5-6 (1985-86), 427-428.

[68] J. Carandell, «An Analemma for the Determination of the Azimuth of the Qibla in the *Risāla fī ᶜilm al-ẓilāl* of Ibn al-Raqqām», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften* 1 (1984), 61-72.

nómico. Otro dato nos lo ofrece Ibn al-Jaṭīb al hablar de Muḥammad b. Riḍwān ibn Arqam al-Numayrī (m. 1259), medio siglo anterior a Ibn al-Raqqām, bien conocido por su tratado de hipología al que aludiré en § 6.3.3.2, entendido en Aritmética, Geometría y Astronomía, y autor de un tratado perdido titulado *Risāla fī-l-asṭurlāb al-jaṭṭī wa-l-ᶜamal bi-hi* («Risāla sobre el astrolabio lineal y su uso») en el que, sin duda, describe el llamado «astrolabio lineal», inventado por el astrolabista persa Šaraf al-Dīn al-Ṭūsī (m. 1213)[69]. Este instrumento constituye una etapa importante en la evolución del instrumental astronómico medieval que pasa de una representación de la esfera celeste en tres dimensiones (esfera, astrolabio esférico, esfera armilar) a su proyección sobre un plano de un modo tal que el usuario pueda fácilmente imaginar una correspondencia fácil entre las líneas trazadas sobre el instrumento y sus homólogas en la esfera (astrolabio llano y, en menor grado, azafea) para terminar, finalmente, en algo que, como el astrolabio lineal, implica un nivel mucho más elevado de abstracción y nos hace pensar en una regla de cálculo astronómico: en efecto, en él, el astrolabio ha quedado reducido a la línea meridiana del mismo, representada por una vara graduada sobre la que se han marcado la posición del Polo, los centros del ecuador, de los trópicos y de los paralelos de declinación, el cenit, las intersecciones de los almucantarates con la línea meridiana, una escala de cuerdas de 0° a 180° etc. Esta vara se combina con un sistema de tres hilos y proporciona un conjunto probablemente menos preciso que un astrolabio llano pero, sin duda, utilizable[70]. Conviene subrayar que la introducción de este instrumento en Granada debió tener lugar muy pronto, probablemente en vida de su inventor al-Ṭūsī, y esto constituye un indicio más del hecho de que la etapa naṣrí no implicó un aislamiento con relación a la producción científica que se llevaba a cabo en el resto del mundo islámico.

La Granada Nazarí no se limitó a escribir tratados sobre instrumental sino que científicos y artesanos siguieron construyendo instrumentos de esta índole lo cual implica la existencia de un mercado

[69] R. Puig, «Ibn Arqam al-Numayrī (m. 1259) y la introducción en al-Andalus del astrolabio lineal», N.E.A.E.S.A.X., pp. 101-103.

[70] No conservamos ningún instrumento de esta índole pero sí disponemos de una reconstrucción del mismo llevada a cabo por Henri Michel que se encuentra en el Museo de Historia de la Ciencia de Oxford (fotografía en L.C.A. p. 240). Cf. H. Michel, «L'astrolabe linéaire d'al-Tusi», *Ciel et Terre* 3-4, mars-avril 1943, pp. 101-107; Michel, *Traité de l'astrolabe*, París, 1947, pp. 115-122.

y, por consiguiente, de una práctica de la astronomía o, mejor, de la astrología hasta los últimos momentos de la historia granadina: recientemente se ha dado a conocer lo que es, probablemente, el último astrolabio andalusí conservado[71], ya que fue construido por un tal Muḥammad ibn Zāwal, lleva una única lámina grabada en el fondo de la madre y trazada para una latitud de 37° (Granada)[72], y está fechado en 886/ 1481. Más antiguos son los conservados en la Real Academia de la Historia[73]: uno de ellos está fechado en Guadix en 1320 y firmado por Ibrāhīm b. Muḥammad b. al-Raqqām, probablemente un hijo del Muḥammad b. al-Raqqām autor del tratado sobre cuadrantes solares; el segundo se debe a Aḥmad b. Ḥusayn b. Bāṣo, posiblemente el personaje (m. 1310) al que Ibn al-Jaṭīb denomina Aḥmad b. Ḥasan, y está fechado en 1265. No es este el único instrumento conservado debido a Aḥmad b. Bāṣo[74] el cual, según Ibn al-Jaṭīb, construyó piezas que superaron con mucho a las *jamā'iriyyāt* y a las *ṣaffāriyyāt*, denominaciones que se refieren, sin duda, a los instrumentos construidos por Muḥammad b. Fatūḥ al-Jamā'irī de Sevilla (fl. 1218)[75] y por Muḥammad b. al-Ṣaffār, el hermano del astrónomo (m. 1034-35) al que me he referido *supra* en § 2.5.2.2. Ahora bien, el mayor título de gloria de los Ibn Bāṣo no es el haber sido *muwaqqits* y hábiles constructores de instrumentos sino que,

[71] A. Mendoza, «El astrolabio del Museo Arqueológico de Granada», *Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de Granada* 1 (1990), 139-167. Cf. L.C.A. p. 227.

[72] Se trata, probablemente, de un redondeo del valor extraordinariamente preciso (37;10°) establecido por Ibn al-Raqqām: cf. *infra* § 6.3.2.2.3.

[73] S. García Franco, «Los astrolabios de la Real Academia de la Historia», *Boletín de la Real Academia de la Historia* 136 (1955), 297-311. Cf. también L.C.A. pp. 225-226.

[74] Entre las piezas mencionadas en la bibliografía reciente, señalaré que algunas láminas de un astrolabio de Ibn Bāṣo aparecen reproducidas y comentadas por J. North en *Horoscopes and History* cit. Sobre este mismo astrolabio véase también J.D. Dodds (ed.), *Al-Andalus. Las artes islámicas en España*, Madrid, 1992, pp. 382-383. De la misma factura es, probablemente, el astrolabio granadino conservado en el Museo Técnico de Viena, descrito por M. G. Firneis, «A Moorish Astrolabe from Granada», *History of Oriental Astronomy. I.A.U. Colloquium 91* ed. by G. Swarup, A.K. Bag, K.S. Shukla, Cambridge, 1987, pp. 227-232. Una lámina de este último astrolabio aparece reproducida en la cubierta del volumen *De Astronomia Alphonsi Regis* ed. por M. Comes, R. Puig y J. Samsó, Barcelona, 1987.

[75] Cf. p. ej. F. Woepcke, «Über ein in der Kaiserlichen Bibliothek zu Paris befindliches arabisches Astrolabium». En F. Woepcke, *Etudes* II, 535-540.

probablemente, el Ḥasan b. Muḥammad de Ibn al-Jaṭīb debe identificarse con el Ḥusayn b. Aḥmad b. Bāṣo que diseñó una nueva lámina de astrolabio con carácter universal en cuanto puede utilizarse para todas las latitudes (*al-ṣafīḥa al-ŷāmiᶜa li-ŷamīᶜ al-ᶜurūḍ*). En esta lámina confluye una doble tradición: por una parte la de la «lámina de horizontes» (*al-ṣafīḥa al-āfāqiyya*)[76] oriental cuya invención se atribuye a Ḥabaš al-Ḥāsib (m.c. 864) y, por otra, la de la azafea de Azarquiel y la lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf (§ 3.3.3.3). En común con la primera tiene el que esta lámina (Fig. 41) utiliza una proyección estereográfica con centro en el Polo Sur y que, como la lámina oriental, multiplica la proyección de horizontes. En efecto esta lámina consta de las siguientes líneas: 1) dos perpendiculares que se cruzan en el centro del instrumento y corresponden a la línea meridiana y a la línea Este-Oeste; 2) tres círculos concéntricos que corresponden a la proyección del trópico de Capricornio, ecuador y trópico de Cáncer; 3) una red de semicírculos concéntricos situados entre el ecuador y el trópico de Capricornio, que corresponden a los paralelos de declinación meridional comprendidos entre ambos círculos máximos; 4) una segunda red de círculos concéntricos trazados dentro de la proyección del ecuador, a los que Ibn Bāṣo denomina *madārāt* (paralelos) o almucantarates ya que corresponden a los círculos de altura para una latitud de 90º; 5) una red de horizontes que son arcos de círculos máximos que cortan a los paralelos pasando todos ellos por los puntos de intersección del ecuador con la línea E-W; y 6) una red de «arcos» (*qisī*) que giran en torno a los puntos E y W y cortan a los horizontes y a los paralelos[77]. El análisis del tratado sobre la construcción de este instrumento, elaborado en el s. XVIII por el alfaquí marroquí Sulaymān al-Fištālī[78], ha llevado a la conclusión de que existen claras concomitancias entre esta lámina y los instrumentos de Azarquiel y ᶜAlī b. Jalaf: si en la lámina de Ibn Bāṣo consideramos únicamente las líneas trazadas entre el ecuador y el polo (centro de la lámina) y suprimimos la red de *madārāt* obten-

[76] Cf. H. Michel, *Traité de l'Astrolabe*, pp. 37-38 y 91-92.

[77] E. Calvo tiene en prensa una edición, traducción y estudio del tratado de Ibn Bāṣo. En este apartado estoy siguiendo, casi literalmente, su trabajo «La lámina universal de ᶜAlī b. Jalaf (s. XI) en la versión alfonsí y su evolución en instrumentos posteriores», O.E.Y.A.F., pp. 221-231.

[78] E. Calvo, «On the Construction of Ibn Bāṣo's Universal Astrolabe», *XVIIIth International Congress of History of Science. Abstracts*, Hamburgo-Munich, 1989, sección P2 nº 3.

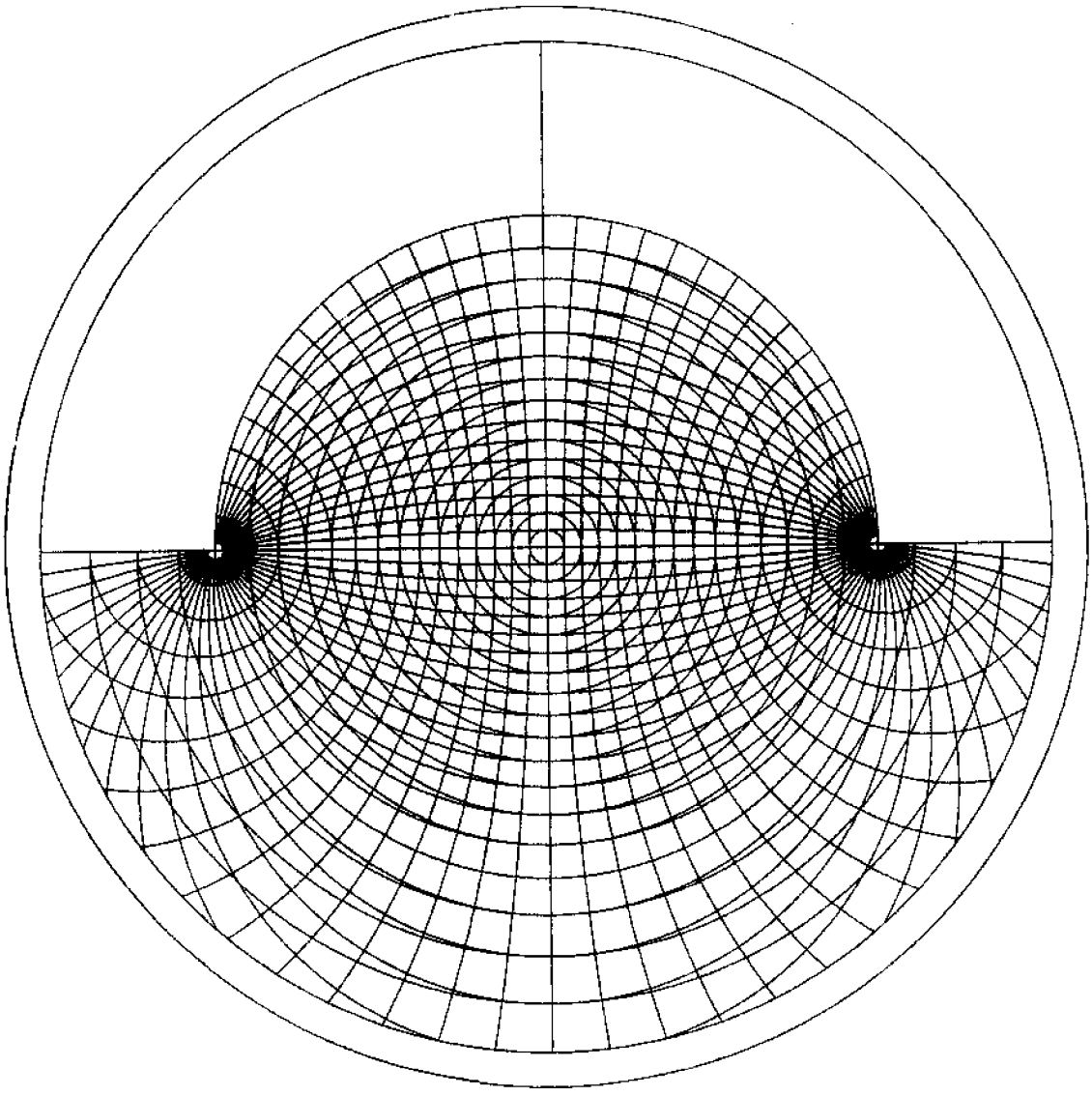


Fig. 41
La lámina de Ibn Bāṣo según E. Calvo y H. Mielgo.

dremos una lámina idéntica a la que aparece grabada en el instrumento de ᶜAlī b. Jalaf. Por otra parte, el análisis del texto del tratado de Ibn Bāṣo, realizado por E. Calvo, muestra que, dado que la lámina carece de una red de coordenadas horizontales, el usuario debe suplirla utilizando, en su lugar, la red ecuatorial. Para ello recurre a un giro, habitual en la azafea de Azarquiel, hacia el Norte o hacia el Sur, equivalente a la colatitud del lugar y utiliza, a este efecto, la red de «arcos» de forma análoga a la manera con la que Azarquiel se sirve de la regleta móvil[79].

La lámina de Ibn Bāṣo conoció una extraordinaria difusión apareciendo frecuentemente en astrolabios magribíes[80] pero -- según me comunica E. Calvo -- también en astrolabios orientales[81]. Uno de sus ecos puede aparecer en el astrolabio construido en Tāzà (Marruecos) por ᶜAlī b. Ibrāhīm al-Ḥarrār (?) en 1327 que se conserva en el Museo de Historia de la Ciencia de Oxford[82]: la lámina de este instrumento es idéntica a la de Ibn Bāṣo si suprimimos, en esta última, la red de líneas trazadas entre la proyección del ecuador y la del trópico de Capricornio o, si se prefiere, se trata de una lámina como la lámina universal sobre la que se ha superpuesto la red de *madārāt* de Ibn Bāṣo. La lámina de al-Ḥarrār pudo haber sido conocida en el Norte de Europa ya que el llamado «astrolabio equinoccial» del jesuita belga Odon van Maelcote (1572-1614) es, si no idéntico, sí muy similar al instrumento del astrónomo marroquí.

79 Sobre la lámina de Ibn Bāṣo cf., además de los trabajos citados de Rénaud y Calvo, J. Samsó, «A propos de quelques manuscrits astronomiques des bibliothèques de Tunis: Contribution à une étude de l'astrolabe dans l'Espagne Musulmane», *Actas del II Congreso Hispano-Tunecino de Estudios Históricos*, Madrid, 1973, pp. 176-182.

80 E. Calvo, «Les échos de l'oeuvre d'Ibn Bāṣo en Afrique du Nord», *Le patrimoine andalous dans la culture arabe et espagnole*, Cahier du CERES série Histoire nº 4, Túnez, 1991, pp. 65-79.

81 Cf. por ejemplo el astrolabio de tipo otomano, con láminas universales de tipo oriental (Ḥabaš al-Ḥāsib) y occidental (Ibn Bāṣo), fechado en 1098/ 1686-87, que se conserva en el Institut du Monde Arabe de París: buenas fotografías en L.C.A. pp. 237-238

82 Véase una buena fotografía en *Instrumentos astronómicos en la España Medieval. Su influencia en Europa* (Sta. Cruz de la Palma, 1985), p. 91, y en L.C.A. p. 239.

6.3.2.2.3 Tablas astronómicas: Ibn al-Raqqām.

A lo largo de la historia de la astronomía andalusí, he dedicado un interés especial a las tablas astronómicas en cuanto constituyen un tema central para seguir la evolución de las teorías astronómicas y dada la importancia que tuvieron las tablas elaboradas o utilizadas en al-Andalus en el desarrollo del cálculo astronómico en la Baja Edad Media europea. Despediré el apartado dedicado a la Astronomía en este capítulo con un análisis preliminar de otra serie de tablas elaboradas por Ibn al-Raqqām (cf. *supra* § 6.3.2.2.2) y que se encuentran, como veremos, en el seno de la tradición de Azarquiel (§ 3.3.2.1, § 3.3.4, § 3.3.5 y § 3.3.6), Ibn al-Kammād e Ibn al-Hā'im (§ 5.2.3).

Se atribuyen a Ibn al-Raqqām dos series de tablas denominadas *al-Zīŷ al-qawīm fī funūn al-taᶜdīl wa-l-taqwīm* («Tablas sólidas para calcular ecuaciones y posiciones planetarias») y *al-Zīŷ al-šāmil fī tahḏīb al-Kāmil* («Tablas de carácter general en las que se corrigen las tablas *al-Kāmil* [de Ibn al-Hā'im]»). De las primeras conservamos una versión relativamente completa y un extracto desordenado pero con una cierta utilidad[83], mientras que de las segundas existe un manuscrito único (nº 249) en el Museo Kandilli de Istambul[84]. Una lectura rápida de ambos textos me ha mostrado que corresponden a dos obras distintas aunque tienen evidentes puntos de contacto: los cánones del *al-Zīŷ al-qawīm* constan de 48 capítulos, mientras que los del *al-Zīŷ al-šāmil* contienen 145 capítulos. Las dos obras tienen, pues, una extensión muy distinta pero la primera parece un resumen o adaptación de la segunda: los contenidos son muy

[83] La versión más completa se encuentra en el ms. 260 de la Biblioteca General de Rabat del que he podido disponer de un microfilm gracias a la amabilidad del Prof. Muḥammad b. Šarīfa. El extracto se encuentra en un manuscrito, sin número de serie, del Museo Naval de Madrid: cf. una descripción de este último en J. Vernet, «La supervivencia de la astronomía de Ibn al-Bannā'», *Al-Qanṭara* 1 (1980), 447-451.

[84] Tengo un juego de fotocopias de este manuscrito gracias a la amabilidad de David King. El Prof. E.S. Kennedy presentó un importante análisis del contenido del ms. Kandilli y del del Museo Naval de Madrid en el Simposio Internacional de Historia de la Ciencia Arabe (Granada, abril 1992): cf. su trabajo, en curso de publicación, «The Astronomical Tables of Ibn al-Raqqām, a Scientist of Granada», del que dispongo de una copia gracias a su autor.

similares y existen parámetros comunes. Así, el mes lunar medio es de 29;31,50,5^{d} y el año musulmán de 12 meses lunares de 354;22,1^{d} en ambos textos aunque estos parámetros se expresen de la manera anterior en el *al-Zīŷ al-qawīm*[85], mientras que en el *al-Zīŷ al-šāmil* los valores mencionados son 29^{d} 12;44^{h} y 354^{d} 8;48^{h}[86]; en ambas tablas[87] aparece, asimismo, una tabla de declinación calculada para una oblicuidad de la eclíptica de 23;32,40°, parámetro que el propio Ibn al-Raqqām menciona en su *Risāla fī ᶜilm al-ẓilāl* afirmando que es el resultado de la «observación [*raṣad*] fiable más reciente», aunque no nos informa sobre quien llevó a cabo la mencionada observación[88]. En cambio, aunque las raíces de los movimientos medios en ambas tablas están calculadas para el principio de la Hégira, el *al-Zīŷ al-šāmil* utiliza el meridiano de Arín[89], mientras que los cánones del *al-Zīŷ al-qawīm*[90] afirman partir del meridiano que pasa por Túnez cuyas coordenadas son, según el texto, longitud = 41;45° y latitud = 36;37°[91]. A esto hay que añadir que el *al-Zīŷ al-qawīm* incluye una tabla para establecer la visibilidad de la luna nueva calculada para una latitud de 37;10° que es, precisamente, el valor moderno de la latitud de Granada aunque, para esta ciudad, no parece documentado en ninguna otra fuente islámica[92]. No existe, por otra parte, duda alguna de que la tabla anterior está calculada precisamente para Granada ya que aparecen, en el ms. de Rabat, varias tablas en las que se menciona explícitamente esta ciudad y se le

[85] Ms. Rabat p. 1; ms. Museo Naval fol. 38r.

[86] Ms. Kandilli fol. 3v.

[87] Ms. Rabat p. 154; ms. Museo Naval fol. 42r; ms. Kandilli fol. 72v.

[88] J. Carandell, *Risāla* pp. 57 y 258.

[89] Ms. Kandilli fol. 11v.

[90] Ms. Rabat p. 9; ms. Museo Naval fol. 39r.

[91] Este valor para la latitud de Túnez no aparece en la lista publicada por E.S. y M.H. Kennedy, *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources*, Frankfurt, 1987, pp. 362-363.

[92] Kennedy, *Geographical coordinates* p. 127. La mencionada tabla aparece en el fol. 41v del ms. del Museo Naval y su título reza "Tabla de la visión de la luna nueva para la latitud de [Túnez, que es de] 37 grados y 10 minutos". Las palabras que he traducido entre paréntesis cuadrados [] son una adición interlineal que carece de sentido y es, claramente, una interpolación posterior. Curiosamente esta tabla no aparece en el ms. de Rabat en el que sólo encuentro otra similar calculada para una latitud de 37;30° (p. 106), el valor habitual de la latitud de Granada.

atribuye una latitud de 37;10°[93]. Una última observación de esta índole es que la única latitud geográfica mencionada explícitamente en el *al-Zīŷ al-šāmil*[94] es la de 36° que, sin duda, corresponde a Bugía, ciudad en la que Ibn al-Raqqām residió hasta trasladarse a Granada durante el reinado de Muḥammad II (1273-1302)[95]. Si a esto añadimos que Ibn al-Jaṭīb sólo menciona el *al-Zīŷ al-qawīm* y afirma que Ibn al-Raqqām «enseñó Matemáticas, Medicina y Fundamentos del Derecho [...], hizo compilaciones [*dawwana*] en todas estas disciplinas, resumió [*lajjaṣa*] y no fue remiso en redactar notas [*taqyīd*], comentarios [*šarḥ*], resúmenes [*taljīṣ*] y compilaciones [*tadwīn*]», creo que es muy posible concluir que Ibn al-Raqqām elaboró el *al-Zīŷ al-šāmil* en 1280-81 -- fecha indicada por el manuscrito[96]-- encontrándose en Bugía y debió trasladarse a Granada después de esta fecha, tal como sugiere Carandell[97] y que el *al-Zīŷ al-qawīm* es un resumen y adaptación de la obra anterior que debió realizarse en dos fases: primero en Túnez[98] (lo que explicaría las numerosas referencias a esta ciudad que aparecen en los dos manuscritos de la obra) y, más tarde, en Granada, tras una cuidadosa determinación de la latitud de la ciudad. Esta hipótesis se confirma con las menciones explícitas de la ciudad de Granada que aparecen en ambos manuscritos: duración de las horas temporales, arco semidiurno expresado en grados y en horas iguales para esta ciudad, siempre en función de la longitud del Sol[99].

[93] Cf. por ejemplo ms. Rabat p. 164 (tabla de ascensiones oblícuas para Granada cuya latitud es de 37;10°) y p. 168 (tabla de coordenadas geográficas en la que puede leerse, para Granada, dos valores para la latitud: 37;30° y 37;10°).

[94] Ms. Kandilli fols. 79v y 80r.

[95] En cambio, la versión del *al-Zīŷ al-Qawīm* del manuscrito de Rabat contiene tablas calculadas para la latitud de Túnez (36;37°) como la de ascensiones oblícuas de las pp. 159-160.

[96] Ms. Kandilli fol. 1r.

[97] Carandell, *Risāla* p. 41.

[98] Es posible que corresponda a esta etapa la tabla de coordenadas estelares «observadas» (*marṣūda*) en el año 680/ 1281-82 según el ms. de Rabat, pp. 100-103.

[99] Cf. ms. Rabat pp. 87-88 y 166. El ms. del Museo Naval, fol. 39r, alude a una tabla para la duración del día en Granada en los cánones pero no la conserva en la parte tabular.

Concentrémonos, ahora, en el *al-Zīŷ al-šāmil* que es, sin duda, la obra de mayor envergadura. En el prólogo Ibn al-Raqqām, tras explayarse en una retórica plagada de citas coránicas, indica que la mayor parte de las tablas necesitan de una corrección en cada generación y afirma que el *al-Zīŷ al-kāmil* de Ibn al-Hā'im carece de tablas y, aunque es correcto y lleva demostraciones geométricas, resulta demasiado largo y prolijo. Esto le ha movido a componer su *zīŷ* con tablas, para las que ha renovado las ecuaciones, en el que tratará de subsanar los defectos del de Ibn al-Hā'im y de hacerlo más accesible al usuario[100]. El texto de los cánones que viene a continuación corresponde a lo anunciado por su autor: se trata de una obra de carácter práctico, sin una sola demostración geométrica, en la que son patentes, como veremos, los ecos de la escuela zarqālí a los que aludía al principio de este apartado. La influencia de Ibn al-Hā'im es particularmente sensible en los procedimientos basados en el cálculo que Ibn al-Raqqām presenta como alternativas al uso de tablas. Se impone, en un programa de trabajo ulterior, el realizar un cotejo cuidadoso de estos cánones con los de Ibn al-Hā'im y los de Ibn Isḥāq, pero hay que señalar, de entrada, que ciertas partes de la obra de Ibn al-Raqqām parecen independientes de las de sus predecesores: desarrolla, por ejemplo, mucho más que Ibn al-Hā'im, una multitud de cuestiones de astronomía y astrología esféricas a las que dedica unos 60 capítulos.

La continuidad de Ibn al-Raqqām con respecto a la escuela zarqālí tanto andalusí como norteafricana resulta particularmente evidente en aquellos capítulos en los que Azarquiel aportó novedades a la teoría astronómica, o sea en lo relativo a la trepidación de los equinoccios y a los modelos solar y lunar. En lo que respecta al primero de estos temas, Ibn al-Raqqām adopta el tercer modelo zarqālí de trepidación (§ 3.3.6.3.4) en el que la cabeza de Aries gira en torno a un pequeño epiciclo ecuatorial en un período de 3874 años julianos, 1 día y 14 minutos de día, lo que coincide con el período básico de Azarquiel. El radio de este epiciclo es de 4;7,57^{p}, casi idéntico al de Azarquiel (4;7,58^{p})[101]. Ibn al-Raqqām, como Azarquiel, superpone a este modelo de trepidación un modelo secundario para

[100] Ms. Kandilli fols. 1r y v.

[101] Ms. Kandilli fol. 66 v. En los fols. 11r, 28v-29r se menciona 4;19,26^{p} que, tal como me señala Kennedy, no es más que *60 sen 4;7,57°*.

justificar la variación de la oblicuidad de la eclíptica[102]. En este modelo el período de revolución del polo de la eclíptica es de 2698 años julianos, 1 mes y 16 días[103] lo que coincide con el período de Ibn Isḥāq (§ 3.3.6.3.4) y difiere de los de Azarquiel (1850 años julianos) e Ibn al-Hā'im (2032 años persas y 29 días: cf. § 5.2.3). De hecho, como hemos visto, Ibn al-Raqqām utiliza, para su tiempo, una oblicuidad de la eclíptica, basada en la observación, de 23;32,40° y esto le lleva — como a Ibn Isḥāq (§ 3.3.6.3.4) — a corregir los parámetros numéricos del modelo de Azarquiel[104] con el fin de obtener una curva de valores de la oblicuidad coherente con los 23;32,40° de su tiempo. Recordemos, por último, que, en el tercer modelo de trepidación de Azarquiel, es preciso calcular el valor de la oblicuidad para obtener la cuantía correspondiente a la precesión para un momento dado y que Ibn al-Kammād — como Ibn Isḥāq e Ibn al-Bannā' — simplificaron el procedimiento introduciendo una tabla de trepidación similar a la del *Liber de motu*, lo que fue objeto de críticas por parte de Ibn al-Hā'im (§ 5.2.3). Nuestro Ibn al-Raqqām no tiene excesivos escrúpulos en establecer un procedimiento aproximado para calcular la «ecuación» de la trepidación[105] y reproduce una tabla calculada para un valor máximo de 10;24°, idéntico al utilizado por Ibn Isḥāq e Ibn al-Bannā'. Este parámetro será corregido en el *al-Zīŷ al-Qawīm*[106] en el que aparece una tabla de ecuaciones con un máximo de 10;46,43°, casi idéntico a los 10;45° del *Liber de motu* (cf. § 3.3.6.2): de hecho este segundo *zīŷ* tiende a la simplificación y la tabla de ecuaciones es el único procedimiento que utiliza para calcular el valor de la precesión, sin que aparezca ni en los cánones ni en las tablas numéricas referencia alguna al tercer modelo de Azarquiel.

La influencia de Azarquiel es asimismo patente en todo lo que afecta al modelo solar (§ 3.3.4). Ibn al-Raqqām, al igual que sus predecesores andalusíes y norteafricanos, acepta un modelo zarqālí de excentricidad variable así como el movimiento propio del apogeo

[102] Ms. Kandilli fols. 28v y 29r.

[103] Ms. Kandilli fol. 11r.

[104] Ms. Kandilli fol. 72v.

[105] Ms. Kandilli fols. 13v y 66v.

[106] Ms. Rabat p. 86.

solar. El centro de la excéntrica solar realiza una revolución completa en 3342 años julianos, 8 meses y 17 días (lo que se ajusta muy bien al parámetro de Azarquiel para este movimiento)[107] e Ibn al-Raqqām[108] expone el procedimiento zarqālí para calcular el valor de la excentricidad para una fecha determinada pero añade un método simplificado que utiliza una tabla «parcial» de la ecuación del sol, calculada para un valor máximo de 1;47,51°: se trata, sin duda, del valor que ha calculado para su época[109] -- que considera válido para unos 40 años --, distinto del que obtuvo Ibn Isḥāq con la misma finalidad (1;49,7°). Los restantes parámetros utilizados por Ibn al-Raqqām derivan de la misma tradición: la longitud del apogeo solar para el principio de la Hégira (76;44,17°)[110] coincide exactamente con la que utilizan tanto Ibn Isḥāq como Ibn al-Bannā'; el movimiento medio diario del sol[111] (0;59,8,11,28,26,27°) coincide, hasta la cuarta fracción sexagesimal, con los datos de que disponemos relativos a las fuentes andalusíes y norteafricanas tantas veces citadas (§ 3.3.4) etc.

Conviene terminar añadiendo algo sobre los modelos planetarios: al igual que sus predecesores, Ibn al-Raqqām introduce, en el *al-Zīŷ al-Šāmil*, la corrección de Azarquiel en el modelo lunar que implica la aparición de un punto ecuante móvil situado en la línea recta que une el centro de la Tierra con el apogeo solar (§ 3.3.5)[112]. Por otra parte, sigue a Ibn al-Hā'im (§ 5.2.3) en el valor del radio del epiciclo de la luna que es de 5;10^p o 5;9^p[113]. La influencia de Ibn al-Hā'im es, asimismo, patente en lo que respecta a las excentricidades de Marte (5;57^p), Venus (1;2^p) y Mercurio (3;6^p)[114]. Este es un tema, no obstante que plantea problemas y en el que convendría

[107] Ms. Kandilli fol. 11r. Con el parámetro de Azarquiel se obtiene una revolución en 3342 años julianos y 259.825 días.

[108] Ms. Kandilli fols. 13v y 67r.

[109] El mismo parámetro aparece en el ms. Rabat p. 107. El cálculo de la ecuación del Sol en este texto es absolutamente convencional y no aparece la menor referencia al complejo modelo solar de Azarquiel.

[110] Ms. Kandilli fol. 67r.

[111] Ms. Kandilli fol. 11v.

[112] No he encontrado referencia alguna a esta corrección en el *al-Zīŷ al-Qawīm*.

[113] Ms. Kandilli fols. 17v y 44r.

[114] Ms. Kandilli fols. 68v - 71v. Las restantes excentricidades son ptolemaicas.

ahondar ya que las máximas ecuaciones del centro que aparecen en las tablas correspondientes no siempre corresponden a las excentricidades mencionadas explícitamente en el texto de los cánones. Los radios de los epiciclos son, también, ptolemaicos pero no siempre parece que se hayan utilizado para el cálculo de las tablas de la ecuación de la anomalía.

Lo anterior resulta suficiente, de momento, para tener una idea de la labor de Ibn al-Raqqām en lo relativo a la elaboración de tablas astronómicas. Sus *al-Zīŷ al-šāmil* y *al-Zīŷ al-qawīm* suponen los últimos eslabones conocidos, en al-Andalus, de una tradición de origen zarqālí representada por Ibn al-Kammād, Ibn al-Hā'im, Ibn Isḥāq e Ibn al-Bannā' y en ellos se manifiesta claramente la influencia del segundo y el tercero de los autores citados. No parece que estas dos tablas contengan muchos materiales originales pero tienen un claro interés y deben tenerse en cuenta a la hora de reconstruir la historia de esta escuela así como la obra perdida de Azarquiel.

6.3.3 LAS CIENCIAS APLICADAS Y LA MEDICINA.

6.3.3.1 *Agronomía y Farmacología.*

Poco es lo que hay que decir dentro de este apartado si se sale del campo estricto de la Medicina. Dos disciplinas científicas característicamente andalusíes como la Agronomía y la Farmacología parecen haber perdido personalidad en la etapa nazarí. El único agrónomo destacado es Ibn Luyūn de Almería (1282-1349)[115], polígrafo aficionado a componer resúmenes sobre las materias más diversas, tanto en prosa como en verso, habiendo compuesto *urŷūzas* (poemas en metro *raŷaz*) sobre partición de herencias (*farā'iḍ*), aritmética, agrimensura (*taksīr*) y agricultura de las que sólo resulta accesible la última, titulada *Kitāb ibdā' al-malāḥa wa-inhā' al-raŷāḥa fī uṣūl ṣinā^{c}at al-filāḥa* («Principio de la hermosura y fin de la fertilidad,

[115] Sobre este personaje cf. E. García Gómez, «Hacia un "refranero" arábigoandaluz. IV: Los proverbios rimados de Ben Luyūn de Almería (1282-1349)», *Al-Andalus* 37 (1972), 1-75.

sobre los fundamentos del arte de la agricultura»)[116], escrita por su autor en 1348, un año antes de su muerte. En ella Ibn Luyūn pretende quintaesenciar, en 1365 versos acompañados por digresiones en prosa, lo mejor de la tradición agronómica andalusí y elabora un resumen claro y práctico aunque escasamente original, por más que es posible que recogiera informaciones orales de agricultores locales[117]. Sus conocimientos tienen carácter ante todo libresco y derivan de una serie de fuentes, tanto clásicas como árabes, que cita expresamente. Las autoridades más frecuentemente citadas son Ibn Baṣṣāl y al-Ṭignarī (cf. § 4.5.2) y llama la atención el que parezca desconocer a Ibn al-ᶜAwwām (§ 5.5.3.4). La estructura misma del poema muestra claramente hasta qué punto depende de la teoría agronómica desarrollada por la tradición andalusí ya que empieza por ocuparse de los cuatro «elementos» (*arkān*) de la agricultura que son la tierra, el agua, los abonos y el trabajo (ᶜ*amal*) que permite airear la tierra mediante el laboreo (§ 4.5.4). La *urŷūza* trata, uno tras otro, de estos elementos y el cuarto (trabajo) le permite detallar todos los trabajos del campo (laboreo, siembra, abono, poda, injerto, elaboración de conservas etc.). En ella conviene destacar el tono práctico y las apelaciones a la experiencia, los datos sobre procedimientos para la nivelación de tierras y, sobre todo, por su carácter excepcional dentro del contexto agronómico andalusí, lo que parece ser la descripción de las condiciones que debe reunir un *qanāt*, con pozos de respiración cada cincuenta codos, por más que no le dé este nombre ni aluda a su función como mecanismo para la captación de aguas, limitándose a aludir a un sistema de canalización por galerías en declive[118]. Son curiosas, asimismo, sus referencias a las prácticas supersticiosas de los agricultores, así como a los métodos para la conservación de frutos y a la aplicación de determinados productos agrícolas a la perfumería (fabricación de pastas depilatorias, por ejemplo).

Por escasos que sean nuestros conocimientos sobre el desarrollo de la agronomía en la Granada Nazarí, sabemos todavía mucho menos sobre su Farmacología. Hemos visto ya, en § 6.3.1, que Ibn al-Jaṭīb menciona a cinco médicos que fueron también botanistas y farmacó-

[116] Cf. la edición y traducción de J. Eguaras, *Ibn Luyūn. Tratado de Agricultura*, Granada, 1975.

[117] Colin, «Filāḥa», *E.I.* II, 923.

[118] Ibn Luyūn ed. y trad. Eguaras pp. 44-45 y 187.

logos. Entre ellos se encuentra Muḥammad b. Ibrāhīm b. al-Sarrāŷ (m. 1330) del que dice que era buen conocedor de las hierbas, hábil a la hora de distinguir las variedades principales de las plantas y que escribió sobre el tema[119]. Desgraciadamente no parece conservarse nada de su obra botánica. También cita al médico malagueño Ḥasan b. Muḥammad al-Qalnār (fl. 1351), aficionado a la agricultura, que estudió Botánica junto con al-Muṣḥafī en cuya compañía herborizaba[120]. A pesar de estas noticias, es posible que el nivel de la época en esta disciplina no fuera muy elevado si hay que juzgar por los capítulos que dedica al tema su contemporáneo el médico Muḥammad al-Šaqūrī (n. 1327)[121] en su tratado sobre la disentería en el que, obviamente, insiste en el tema de la dieta así como en el de los medicamentos simples y compuestos que son útiles contra la diarrea: no parece que estos capítulos contengan grandes novedades ya que, en ellos, al-Šaqūrī se limita a compilar de diversos autores orientales y de un único autor andalusí: Ibn Zuhr (§ 5.5.3.2)[122]. Más interesante a este respecto resulta la figura del cirujano Muḥammad al-Šafra (m. 1360), al que ya me he referido en § 6.1, sobre el que nos dice Ibn al-Jaṭīb[123] que «examinó gran número de especies de plantas, tema por el que sentía gran afición, y se dedicó, al principio de su vida, a ejercer el oficio de herbolario, explorando los lugares poblados de vegetación y recorriendo los montes». Según el propio Ibn al-Jaṭīb compuso un tratado de botánica que no parece haberse conservado y la única información que tenemos acerca de sus conocimientos en esta materia deriva del tercer libro de su tratado sobre llagas, inflamaciones y tumores - del que me ocuparé en § 6.3.3.3- que constituye una especie de antidotario en el que al-Šafra se ocupa de los fármacos simples y compuestos. Renaud[124] valoró muy

[119] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān III, 160-162.

[120] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān I, 467-468.

[121] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān III, 177-179.

[122] H.P.J. Rénaud, «Un médecin du royaume de Grénade. Muḥammad al-Šaqūrī», *Hespéris* 33 (1946), 31-64 (cf. p. 56).

[123] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān III, 179-180.

[124] H.P.J. Rénaud, «Un chirurgien musulman du royaume de Grénade: Muḥammad Aī-Šafra», *Hespéris* 20 (1935), 1-20 (cf. p. 19); «Note complémentaire», *Hespéris* 27 (1940), 97-98.

negativamente esta parte de la obra, dado que Muḥammad al-Šafra se limita a redactar recetas mencionando rara vez las propiedades terapéuticas de las plantas. Pese a ello, este texto debería ser objeto de un análisis ulterior ya que, según han señalado Franco y Cabello[125], las propiedades medicinales de algunas plantas que aplica al-Šafra presentan ciertas concomitancias curiosas con las prácticas de la medicina naturista moderna. Dado el carácter de cirujano y médico eminentemente práctico que tiene este personaje, que sólo tardíamente parece haber alcanzado una formación académica, es posible que su formación como botanista tuviera un carácter muy distinto al habitual en la escuela farmacológica andalusí y que tengamos, en su antidotario, un eco de la tradición popular tanto andalusí como cristiana.

6.3.3.2 *Hipología, Hipiatría y Arte Militar.*

Conviene recordar aquí que la etapa nazarí se caracteriza por un desarrollo notable de la literatura hipológica, en un contexto que tiene poco que ver con los estudios zoológicos o hipiátricos. El reino granadino se encuentra en un estado de guerra casi permanente y el caballo es una herramienta de combate de primera importancia. Esto justifica la aparición de una serie de cinco tratados sobre hipología[126] de los que sólo uno se ocupa de las enfermedades del caballo y de la manera de tratarlas, mientras que la mayoría de los restantes suelen abordar el tema desde el punto de vista del arte militar o bien en un plano más bien literario, llenando su obra de multitud de anécdotas y digresiones tomadas de la literatura de *adab* (que podríamos, tal vez, traducir por «ensayo») con descripciones del animal en las que el autor hace gala, ante todo, de su riqueza de vocabulario[127]. Esta literatura nace con el mismo reino de Granada

[125] F. Franco y M.S. Cabello, *Muḥammad al-Šafra. El médico y su época*, Alicante, 1990, pp. 116, 132, 140.

[126] A los que debería añadirse el libro sobre el mismo tema (*al-bayṭara*) que menciona Ibn al-Jaṭīb en su autobibliografía: cf. *Iḥāṭa* ed. ᶜInān IV, 459.

[127] Cf. los estados de la cuestión sobre los tratados de hipología granadinos debidos a G.S. Colin, «Un nouveau traité grenadin d'hippologie», *Islamica* 6 (1934), 332-337; R. Arié, *L'Espagne Musulmane au temps des Naṣrides (1232-1492)*, París, 1973, 436-438; M.J. Viguera, *Ibn Hudayl. Gala de caballeros, blasón de paladines*, Madrid, 1977, 9-35.

ya que el primer libro de la serie fue redactado por Muḥammad ibn Riḍwān ibn Arqam al-Numayrī (m. 1259), al que he mencionado ya como introductor en al-Andalus del astrolabio lineal (cf. § 6.3.2.2.2), y dedicado al primer monarca naṣrī Muḥammad I (1237-1272). Habrá que esperar un siglo para que aparezca el segundo tratado de hipología granadino, compilado hacia 1369-1390 por Abū Muḥammad ᶜAbd Allāh Ibn Ŷuzayy para Muḥammad V (1354-59, 1362-1391). No conservamos el tratado de Ibn Arqam pero sí el de Ibn Ŷuzayy, que ha sido objeto de un somero análisis debido a Colin, y, dado que el segundo fue escrito con el propósito de aligerar el primero de gran número de términos técnicos poco asequibles, en cuanto derivaban básicamente de la literatura de *adab* y de la lexicografía oriental arcaizante, parece claro que ambas obras tienen escaso interés para la historia de la ciencia andalusí.

Ibn Ŷuzayy señala en su obra que excluye ocuparse de hipiatría ya que, sobre este tema, existe un libro excelente escrito por Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. ᶜAbd al-Raḥmān Ibn Ḥudayl al-Fazarī (fl. en la segunda mitad del siglo XIV)[128] y dedicado al mismo Muḥammad V. Tenemos, pues, aquí el único tratado de hipiatría o albeitería de la serie, conservado en un único manuscrito de la R. Academia de la Historia, y titulado *al-Fawā'id al-musaṭṭara fī ᶜilm al-bayṭara* («Cosas útiles puestas por escrito sobre la ciencia de la albeitería»). Consiste en «una exposición razonada de los tratamientos que requieren las enfermedades del caballo, en la que se pasa revista a las dolencias que se fijan en los órganos superiores del cuerpo del cuadrúpedo, las de las extremidades inferiores o patas, las que comúnmente afectan a varios órganos indistintamente, y las anormalidades que se observan en la práctica de la albeitería»[129]. Por otra parte Ibn Ḥudayl escribió también otros dos libros relacionados con la hipología: el primero, escrito por orden de Muḥammad V, se tituló *Tuḥfat al-anfus wa-šiᶜār sukkān al-Andalus* («Regalo de los espíritus y blasón de los habitantes de al-Andalus») y consta de una primera parte dedicada al arte militar, con énfasis en la guerra santa (*ŷihād*)

128 F. Viré, «Ibn Hudhayl», *E.I.* III, 827-828.

129 E. Terés, «Los códices árabes de la "Colección Gayangos"», *Al-Andalus* 40 (1975), 23.

y la defensa de las fronteras del Islam (*ribāṭ*)[130], mientras que la segunda se ocupa de los caballos y de las armas del caballero. Tal como señala Viré, se trata de una obra, realizada por encargo real, destinada a convencer a los granadinos de la necesidad de adoptar el oficio de las armas y organizar una caballería digna de sus ilustres antepasados.

Bien sea porque su incitación no tuvo el éxito esperado o por alguna otra razón, lo cierto es que Ibn Ḥudayl sintió, treinta años más tarde, la necesidad de remozar su obra y escribió su *Ḥilyat al-fursān wa-šiᶜār al-šuŷᶜān* («Gala de caballeros y blasón de paladines»)[131] que dedicó, en 1392, a Muḥammad VII (1392-1408). En esta nueva versión Ibn Ḥudayl suprime la primera parte de su obra, dedicada al arte militar, y reelabora los materiales de la segunda, proponiéndose «componer y pulir, censar y cribar este libro sobre guerra y torneo, armas y caballos, las buenas cualidades que poseen o los defectos que les hacen rechazables, más todo lo que con la equitación viene trabado, y normas de aprender la jineta con todo lo que en esto puede precisarse»[132]. El conjunto contiene cuidadosas descripciones de las distintas partes del cuerpo del caballo, en las que el autor hace gala de sus conocimientos lingüísticos, normas para cuidarlo, cualidades y defectos del animal y cómo detectarlos, aprendizaje de la equitación etc. A esto se añade una parte final, de un cierto interés para la historia de la tecnología, sobre las armas del caballero en la que se describen espadas, lanzas, arcos y flechas, ballestas, cota de malla, escudo etc. Ya Mercier llamó la atención sobre el curioso hecho de que ni en esta obra ni en la precedente, Ibn Ḥudayl no menciona la existencia de armas de fuego que eran conocidas en al-Andalus por lo menos desde 1324, año en el que Ismāᶜīl I (1314-1325) parece haber utilizado, en el sitio de Huéscar, una especie de cañón cargado con pólvora (*nafṭ*) que lanzó una bola

[130] Esta primera parte fue editada por L. Mercier, *L'ornement des âmes et la devise des habitants d'al-Andalus. Traité de guerre sainte islamique*, París, 1936. El mismo Mercier publicó una traducción francesa de la obra (París, 1939).

[131] Existe una edición facsímil de L. Mercier, *La parure des cavaliers et l'insigne des preux de Ben Hodeïl el Andalousy*, París, 1922, y traducción francesa del mismo autor (París, 1924). Disponemos, además, de una edición del texto árabe debida a M. ᶜAbd al-Ganī Ḥasan, El Cairo, 1951, y de la traducción castellana de M.J. Viguera, *Gala de caballeros...* cit.

[132] Trad. Viguera, *Gala de caballeros* p. 41.

de hierro incandescente sobre una tronera de la torre del castillo[133]. Indudablemente la artillería estaba poco de acuerdo con el espíritu caballeresco de la *furūsiyya* que es el que, sin duda, informa el ánimo de Ibn Ḥuḏayl pero, a la vista del uso que de ella hicieron los Reyes Católicos en la campaña de Granada, los andalusíes debieron lamentar el que sus ingenieros y militares hubieran demostrado escaso interés por la nueva arma que los granadinos parecen haber sido los primeros en introducir en la Península. El primer tratado de artillería compuesto por un andalusí fue escrito, en Túnez y en castellano, por el morisco Ibrāhīm b. Gānim Arribas, entre 1630-1632, y traducido al árabe, en 1638, por otro morisco llamado Šihāb al-Ḥaŷarī, alias Aḥmad b. Qāsim Bejarano: llevaba el sugerente título de *Kitāb al-ᶜizz wa-l-rifᶜa wa-l-manāfiᶜ li-l-muŷāhidīn fī sabīl Allāh bi-l-madāfiᶜ* («Libro acerca de la gloria, dignidad y provecho que encontrarán en los cañones aquellos que combaten en el camino de Dios»)[134].

6.3.3.3 *La medicina*

He aludido ya en § 6.3.1 al interés que los intelectuales granadinos parecen haber sentido por la medicina, sin duda la disciplina científica más cultivada y estructurada. La llegada a la corte de Muḥammad II (1273-1302) de al-Riqūṭī e Ibn al-Raqqām dio como resultado la formación de una auténtica escuela de médicos eruditos cuyo árbol genealógico ha sido establecido por R. Puig[135] y en el que destaca la importancia del magisterio de al-Riqūṭī y, más tarde, de Abū Zakariyyā' Yaḥyà b. Ḥuḏayl al-Tuŷībī (m. 1352)[136], del que hemos visto (§ 6.2.2) que enseñó medicina en la *madrasa*. Con esta

[133] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān I, 390-391 y IV, 396-397. Cf. J. Vernet, *La cultura hispanoárabe en Oriente y Occidente*, Barcelona, 1978, p. 231.

[134] M. ᶜAbd Allāh ᶜInān, «Min turāṯ al-adab al-andalusī al-mūriskī. Kitāb al-ᶜizz wa-l-rifᶜa...», *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos* 16 (1971), 11-19.

[135] R. Puig, «Dos notas sobre ciencia hispano-árabe a finales del siglo XIII en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb», *Al-Qanṭara* 4 (1983), 433-440. Cf. también «Ciencia y técnica en la *Iḥāṭa*» cit.

[136] R. Castrillo, «Yaḥyà b. Ḥuḏayl, iniciador de Ibn al-Jaṭīb en el conocimiento de la ciencia médica», *Al-Qanṭara* 7 (1986), 13-18.

escuela académica, en la que parece utilizarse con profusión la *Urŷūza fī-l-ṭibb* de Ibn Sīnā -- sobre la que escribió un comentario el cadí granadino Ibn al-Farrā' (1238-1286)[137] --enlaza de forma excepcional otra, de raiz popular, representada por Muḥammad al-Šafra (m. 1360), un cirujano práctico que estudió, primero en Crevillente con su padre, más tarde en Valencia con un cristiano llamado probablemente Bernat y «con una multitud de los mejores prácticos en este arte manual que eran cristianos»[138], y que terminó su formación en Granada con Ibn al-Sarrāŷ (m. 1330), discípulo de Ibn Sālim (m. 1317) que, a su vez, fue discípulo de al-Karnī (fl. 1291) el cual, por último, había estudiado con al-Riqūṭī. No hace falta, por otra parte, insistir en el hecho de que la medicina granadina no se encuentra aislada con respecto a las corrientes que proceden de más allá del Estrecho: tanto en § 6.1 como en § 6.2.3 he analizado el tema de las relaciones con Oriente y, sobre todo, con el Magrib.

De entre el conjunto de personajes que constituyen el elenco de médicos granadinos, muy pocos nos han legado una obra escrita que haya llegado hasta nosotros y son menos, todavía, los que han tenido la fortuna de que sus obras hayan sido objeto de ediciones o, al menos, de estudios previos. Los nombres a destacar, desde este punto de vista, son: Muḥammad al-Šafra (m. 1360, cf. § 6.1 y 6.3.3.1), Muḥammad al-Šaqūrī (n. 1327, cf. § 6.3.3.1) y el famoso polígrafo y político Ibn al-Jaṭīb (1313-1375) a cuya gran obra histórica, la *Iḥāṭa*, he recurrido constantemente a lo largo de este capítulo. Son, sin duda, los tres grandes nombres de la medicina granadina y mientras al-Šafra enlaza, como hemos visto, con la escuela fundada por al-Riqūṭī, tanto al-Šaqūrī como Ibn al-Jaṭīb son discípulos directos de Ibn Ḥuḏayl. Los tres, por otra parte, sobrevivieron a la peste negra que asoló el reino de Granada en 1348-49 y los dos últimos citados escribieron sendos opúsculos sobre esta epidemia[139]: al-Šaqūrī escribió el *Taḥqīq al-nabā' ᶜan amr al-wabā'* del que conservamos un resumen que él mismo redactó[140] e Ibn al-Jaṭīb la *Muqniᶜat al-sā'il*

[137] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān IV, 80-81.

[138] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān III, 179-180. La edición citada lleva la errata *al-rūḥ* por *al-rūm* (cristianos).

[139] Sobre la peste negra y la literatura médica a que dio lugar cf. Arié, *L'Espagne Musulmane au temps des Naṣrides* pp. 396-398, 431, 435-436.

[140] R. Arié, «Un opuscule grenadin sur la Peste Noire de 1348: la *Naṣīḥa* de Muḥammad al-Šaqūrī», *Boletín de la Asociación Española de Orientalistas* 3 (1967),

ᶜan al-maraḍ al-hā'il o Risālat al-ṭāᶜūn[141] que se conserva manuscrita. En torno al mismo tema conservamos también un escrito debido al poeta Ibn Jātima (m.c. 1369)[142] y, finalmente, el propio Ibn al-Jaṭīb menciona otra obra sobre la epidemia debida a Muḥammad al-Bilyānī (m. 1362)[143]. Como señala R. Arié, tanto al-Šaqūrī como Ibn Jātima -- al igual que los médicos cristianos contemporáneos-- atribuyeron la epidemia a una causa astrológica: la conjunción de tres planetas que habría provocado la corrupción de la atmósfera[144], lo que justifica las medidas profilácticas recomendadas a base de fumigaciones para sanear el aire: la peste fue, a la vez, bubónica y pulmonar y al-Šaqūrī e Ibn al-Jaṭīb son conscientes de la faceta pulmonar de la misma. Al-Šaqūrī, por otra parte, no duda en recurrir a remedios de carácter supersticioso como llevar un jacinto en el dedo o colgar un fragmento de colmillo de elefante del cuello de un

189-199. Reimpresión en Arié, *Etudes sur la civilisation de l'Espagne Musulmane*, Leiden, 1990, pp. 57-67.

[141] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān IV, 459. Véase un fragmento de esta obra en M.A. Jaṭṭābī, *al-Ṭibb wa-l-aṭibbā' fī-l-Andalus al-islamiyya* (2 vols. Beirut, 1988) II, 187-188.

[142] Trad. alemana de T. Dinana, «Die Schrift von Abī Djaᶜfar Aḥmed ibn ᶜAlī ibn Moḥammed ibn ᶜAlī ibn Hâtimah aus Almeriah über die Pest», *Arch. Gesch. Med.* 19 (1927), 27-81; cf. también M. Antuña, «Abenjatima de Almería y su tratado de la Peste», *Religión y Cultura*" 4 (Octubre, 1928), 68-90. Se ha publicado, recientemente, una ed. fragmentaria del texto árabe en Jaṭṭābī, *al-Ṭibb wa-l-aṭibbā'* II, 161-186. Cf., por último, E. Molina, «La obra histórica de Ibn Jātima de Almería. Los datos geográfico-históricos», *Al-Qanṭara* 10 (1989), 151-173 (especialmente pp. 163-170).

[143] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān II, 364-365.

[144] De acuerdo con las *Tablas Alfonsíes* hubo, efectivamente, una conjunción de Júpiter y Marte en Acuario 14;32° el 1.3.1345; otra de Marte y Saturno en Acuario 17° el 4.3.1345; una tercera conjunción, de Júpiter y Saturno en Acuario 18;45° el 21.3.1345. No se puede hablar, estrictamente, de una conjunción de los *tres* planetas pero, indudablemente, los tres se encontraban muy próximos en las mismas fechas. Cf. B.R. Godstein y D. Pingree, «Levi ben Gerson's Prognostication for the Conjunction of 1345», *Transactions of the American Philosophical Society* (Philadelphia) Vol. 80 part 6 (1990) (cf. especialmente p. 52).La teoría de la corrupción del aire sigue viva en el siglo siguiente: con motivo de una nueva epidemia en 1440, un personaje denominado ᶜUmar al-Mālaqī escribe una epístola con la que pretende convencer a Muḥammad IX para que abandone la Alhambra, donde el aire es malsano, para trasladarse a vivir a Málaga hasta que desaparezca la peste. Cf. F. de la Granja, «La "Maqāma de la peste" del alfaquí ᶜUmar de Málaga», *Al-Andalus* 23 (1958), 107-125.

niño para protegerle de la peste[145]. Ibn Jātima, a su vez, intenta justificar las razones que motivaron la especial virulencia que la epidemia tuvo en Almería y que se deben — según él — a la orientación de esta ciudad, que permite que los rayos del sol se reflejen con gran intensidad y que los vientos del sur soplen libremente, a las características del agua que se bebe en ella y, finalmente, a la dieta a base de pescado que consumen sus habitantes. No obstante, lo más interesante en estos textos está constituido por la insistencia de los tres autores en el contagio como causa de la propagación de la epidemia y en la necesidad de medidas de carácter higiénico, basadas en la limpieza con agua fría: al-Šaqūrī prohibirá acudir a los baños públicos pero no por las obvias posibilidades de contagio sino porque, siguiendo a Galeno, considera que los baños calientes abren los poros y permiten la introducción, a través de ellos, del aire corrupto. Son muy significativas de su sensibilidad ante el tema del contagio las palabras de Ibn al-Jaṭīb: «La existencia del contagio está determinada por la experiencia, el estudio y la evidencia de los sentidos, por la prueba fidedigna de propagación por medio de los vestidos, vasos, pendientes; se transmite por las personas de una casa determinada, por la contaminación producida en las aguas de un puerto a la llegada de personas procedentes de países afectados; por la inmunidad en que se hallan los individuos aislados y las tribus nómadas beduinas de Africa»[146].

Dejando de lado el tema de la peste, conviene pasar revista rápida a la producción médica de los tres autores antes citados. Muḥammad al-Šaqūrī fue discípulo no sólo de Ibn Hudayl sino también de su abuelo Abū Tammām Gālib al-Šaqūrī (m. 1340) al que he mencionado en § 6.2.3 porque estudió en el hospital de El Cairo y ejerció, más tarde, la medicina en Marruecos. Su nieto, Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad (n. 1327)[147], nos ha legado un tratado titulado *Tuḥfat al-mutawassil wa rāḥat al-muta'ammil* («Regalo del que ruega y reposo

[145] R. Arié, «Un opuscule grenadin» p. 197-198; cf. también de la misma autora «Le merveilleux dans la littérature hispano-musulmane au Bas Moyen Age», *Actas del XII Congreso de la U.E.A.I. (Málaga, 1984)*, Madrid, 1986, p. 73 (reimpr. en *Etudes* p. 249).

[146] Trad. de C. Vázquez de Benito, «La Materia Médica de Ibn al-Jaṭīb», *Boletín de la Asociación de Orientalistas Españoles* 15 (1979), 139-150 (cf. p. 140).

[147] Si las fechas son correctas hay que creer que empezó a estudiar medicina con su abuelo antes de cumplir los trece años.

del que reflexiona»)[148], escrito con motivo de una enfermedad que sufrió un cadí granadino, que constituye un dato más sobre el éxito que la *Urŷūza* sobre la medicina de Ibn Sīnā conoció en la Granada Nazarí ya que no sólo es una fuente que el autor cita con frecuencia sino que dedica la tercera y última parte del libro a comentar los pasajes de la *Urŷūza* que tratan del régimen de vida de los ancianos. En esta obra al-Šaqūrī se ocupa de todos los tipos de flujo intestinal, que clasifica con detalle (según sean de origen estomacal, hepático, intestinal etc., o según pertenezcan a la especie ventosa, mucosa o quilosa). Entre estos flujos se ocupa, evidentemente, de la diarrea, pero también de las hemorragias intestinales, así como de los hemorroides. Esta temática le mueve, desde luego, a insistir en la dieta y su obra contiene información de interés para el estudio de la alimentación en al-Andalus, ya que trata de comidas anómalas (saltamontes, escarabajos, ratas), y estudia -- con criterios que pueden no parecer muy científicos -- las clases y calidades de las aguas, los alimentos a base de cereales, los distintos tipos de carnes animales y sus aplicaciones terapéuticas, así como las legumbres y vegetales. Todo esto en un texto que rezuma la experiencia de un médico práctico que sazona la teoría -- que toma de autoridades clásicas y orientales sobre todo -- con multitud de anécdotas y casos clínicos correspondientes a sus experiencias propias y a las de su abuelo, del que, sin duda, manejó escritos que no se nos han conservado. Los textos que transcribe de Abū Tammām Gālib tienen, a veces, un enorme interés: muchos de ellos corresponden a su etapa de aprendizaje en El Cairo y constituyen una de las raras fuentes de que disponemos sobre la enseñanza de la medicina en la época. Este mismo espíritu práctico de médico en ejercicio es el que aparece en una obra menor de al-Šaqūrī titulada *al-Muŷarrabāt* («Experiencias») que, pese a su carácter de obra que pretende describir todas las enfermedades del cuerpo humano (de la cabeza a los pies) y su tratamiento, tiene el carácter de un resumen o de notas tomadas al dictado en respuesta a cuestiones planteadas por otros sabios de Granada[149].

[148] Véanse los fragmentos editados por Jaṭṭābī, *al-Ṭibb wa-l-aṭibbā'* II, 245-285.

[149] Sobre todo lo anterior, cf. Rénaud, «Un médecin du royaume de Grenade» cit.

Un caso, en cierto modo, similar al de al-Šaqūrī es el de Muḥammad al-Šafra que, a pesar de la formación médica que recibe en Granada, es ante todo un cirujano práctico (los manuscritos de su obra le califican de *mutaṭabbib* o «médico empírico», no de *ṭabīb*, médico académico) si debemos juzgar por la única obra suya que ha llegado hasta nosotros: el *Kitāb al-istiqṣā' wa-l-ibrām fī ᶜilāŷ al-ŷirāḥāt wa-l-awrām* («Tratamiento exhaustivo y sólido de heridas, inflamaciones y tumores»)[150], escrito en Fez después de 1341. Esta obra se encuentra dividida en tres libros de los que el tercero se ocupa de Farmacología (cf. § 6.3.3.1), mientras que los dos primeros tratan respectivamente de inflamaciones y tumores y del tratamiento de las heridas, extracción de flechas y reducción de fracturas y luxaciones. Su estudio de los *awrām* — término que abarca tanto los tumores propiamente dichos como cualquier tipo de inflamación, por lo que en este apartado al-Šafra se ocupa de forúnculos, antrax, verrugas, quistes, fístulas, flemones, herpes, gangrena etc.— parte del segundo libro (patología) del *Taṣrīf* del gran cirujano de época califal Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (cf. § 2.6.2) pero lo complementa en el terreno teórico (al-Zahrāwī mencionaba treinta especies de *awrām* y al-Šafra eleva este número a treinta y seis) basándose en su amplia experiencia personal acumulada en su ejercicio profesional en la región valenciana, Granada, Algeciras, Ceuta etc. que documenta con multitud de anécdotas y casos clínicos en los que demuestra que, a pesar de su apodo (*al-šafra* es la navaja de barbero), no es siempre partidario de la intervención quirúrgica sino que, muchas veces, opta por dejar actuar a la naturaleza auxiliándola en lo posible. La influencia de al-Zahrāwī sigue omnipresente en el segundo libro en el que, por otra parte, son mucho más frecuentes las referencias a la experiencia personal del autor: en él se ocupa de heridas en la cabeza (con casos impresionantes de fracturas de cráneo acompañadas de salida de masa encefálica), pecho, abdomen y extremidades, da abundantes referencias al tema de las heridas de flecha, describe técnicas para extraer el proyectil y termina con un estudio de las fracturas y luxaciones. El conjunto de la obra revela un excelente cirujano, poco erudito, y con una enorme experiencia en una espe-

[150] Cf. Rénaud, «Un chirurgien musulman»; Franco y Cabello, *Muḥammad aš-Šafra* cits. No he podido consultar una tesis doctoral en microfichas (Universidad de Granada, 1989) de E. Llavero, *Un tratado de cirugía hispanoárabe del siglo XIV: el* Kitāb al-istiqṣā' *de Muḥammad al-Šafra*. Cf. la ed. de Jaṭṭābī, *al-Ṭibb wa-l-aṭibbā'* II, 35-150.

cialidad muy concreta: la Traumatología. Pese a que Renaud considera, al comparar a al-Šafra con el gran al-Zahrāwī, que se había producido un notable proceso de decadencia en la cirugía granadina en relación con la que se practicaba en época califal, convendría señalar que Muḥammad al-Šafra es, simplemente, hijo de su tiempo y constituye una figura de primera fila en el contexto de la ciencia granadina.

En contraste con la viveza de los escritos de al-Šaqūrī y al-Šafra, las obras médicas conservadas de Ibn al-Jaṭīb[151] resultan un tanto decepcionantes. He mencionado ya su tratado sobre la peste, probablemente su obra maestra, y hay que añadir a él un tratado general de patología médica, así como una *urŷūza* sobre el mismo tema, un tratado de Higiene o Dietética y, posiblemente, un escrito sobre Embriología (*Takwīn al-ŷanīn*, «Generación del feto») que puede haberse conservado de forma fragmentaria[152]. El tratado de patología lleva el título de *Kitāb ᶜamal man ṭabba li-man ḥabba* («Práctica de quien ejerce la medicina con aquellos a los que ama»)[153]. El título hace pensar en un posible *vademecum* médico para uso doméstico y, aunque el libro parece tener, a veces, este carácter su contenido resulta, en realidad, mucho más ambicioso. Se trata de un libro escrito durante el primer exilio de Ibn al-Jaṭīb en Marruecos (1359-1362) y está dedicado al sultán meriní Abū Sālim Ibrāhīm (1359-1361) al que, sin duda, desea asombrar con su erudición. Estructura su obra en dos partes: en la primera pasa revista a las enfermedades específicas de cada órgano, siguiendo el orden tradicional (*de capite ad calcem*) y estructurando el artículo que corresponde a cada enfermedad de una forma muy precisa: definición, etiología, sintomatología, tratamiento, medicamentos compuestos que son eficaces para esta enfermedad y que están al alcance de todos (*al-adwiya al-ŷumhūriyya*), medicamentos compuestos que no tienen

[151] Cf. la introducción general al tema de C. Vázquez, «La Materia Médica de Ibn al-Jaṭīb» cit.

[152] H.P.J. Rénaud, «Sur la génération du foetus», *Hesperis* 32 (1945), 97.

[153] Ed. de C. Vázquez de Benito, *El libro del ᶜAmal man ṭabba li-man ḥabba de Muḥammad b. ᶜAbdallāh b. al-Jaṭīb*, Salamanca, 1972. Traducciones parciales en otros trabajos de la misma autora como «Un "tratado oftalmológico" de Ibn al-Jaṭīb», *Boletín de la Asociación de Orientalistas Españoles* 16 (1980), 209-220 y 17 (1981), 71-87; «Sobre la cosmética (*zīna*) del s. XIV en al-Andalus», *Boletín de la Sociedad Española de Historia de la Farmacia* 33 (1982), 9-48.

este carácter y que requieren, por tanto, la intervención del médico, medicamentos simples adecuados, régimen alimenticio que resulta conveniente y, por último, añade a veces una segunda lista de remedios caseros que, en muchos casos, tienen carácter mágico o supersticioso, así como unos consejos acerca de precauciones a tomar relativos a cosas que no se deben hacer. Todo esto viene sazonado con abundantes citas de autores clásicos y orientales, de los que el más citado es al-Rāzī y, entre los escasos andalusíes, destacan el farmacólogo Ibn al-Bayṭār (§ 5.5.2) e Ibn Zuhr (§ 5.5.3.2). Destaca dentro de este conjunto su tratamiento cuidadoso de la Oftalmología, uno de los escasos capítulos en los que Ibn al-Jaṭīb introduce opiniones propias. Sigue, a continuación una segunda parte en la que nuestro autor se ocupa de las enfermedades que afectan a todo el cuerpo (fiebres y tumores), traumatología (heridas, fracturas y dislocaciones), dermatología, obstetricia y pediatría y toxicología. A todos estos materiales se añade un extenso tratamiento de la «cosmética» (*zīna*) tema en el que fue precedido por Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (§ 2.6.2) y por Ibn Zuhr (§ 5.5.3.2) y en el que abarca no sólo la cosmética propiamente dicha sino también el estudio de problemas dermatológicos y relativos a los trastornos sexuales, abordando temas como la frigidez y la impotencia (con observaciones muy sensatas sobre la impotencia de origen psicológico), los afrodisíacos y antiafrodisíacos, procedimientos anticonceptivos y maneras de provocar el aborto. En conjunto, pues, un manual útil en el que se tratan todos los aspectos conocidos de la patología, que revela multitud de lecturas pero en el que no parece comprobarse ningún tipo de experiencia médica por parte de su autor. Un carácter muy similar tiene la *Urŷūza* o *Manẓūma fī-l-ṭibb*[154] acerca de la cual convendría plantearse la posibilidad de que Ibn al-Jaṭīb hubiese escrito esta obra debido al éxito que tenía en Granada la *urŷūza* de Ibn Sīnā. Se trata de un poema didáctico estructurado de manera análoga al *ʿAmal* aunque, dada su mayor concisión, se omiten multitud de detalles, se alude sólo a los medicamentos simples y se suprimen las citas de autores. En conjunto, pues, un resumen de patología médica que un práctico en ejercicio podía fácilmente aprender de memoria.

La última obra médica accesible de Ibn al-Jaṭīb es su Higiene o Dietética, titulada *Kitāb al-wuṣūl li-ḥifẓ al-ṣiḥḥa fī-l-fuṣūl* («Cómo

[154] Ed. y trad. parcial (dolores de cabeza y enfermedades de los ojos) de C. Vázquez de Benito, «La *Urŷūza fī-l-ṭibb* de Ibn al-Jaṭīb», *Boletín de la Asociación Española de Orientalistas* 18 (1982), 147-177.

llegar a conservar la salud a lo largo de las estaciones del año»)[155]. Se trata de una obra dedicada al sultán Muḥammad V, escrita rápidamente -- su autor afirma que la redactó en un mes durante un viaje al Levante -- entre 1368 y 1371. En ella Ibn al-Jaṭīb empieza por exponer unas nociones elementales de astronomía ptolemaica con el fin de explicar las estaciones del año, analiza la complexión del cuerpo humano en función de la teoría de los cuatro humores y sigue ocupándose de todo aquello que rodea al hombre y se relaciona con su régimen de vida: el aire, los alimentos y bebidas, la necesidad de evacuación en los casos de plétora, el baño, el coito, el sueño y el ejercicio físico. Toda esta primera parte se sitúa, pues, en el terreno de las generalidades y parte de la relación entre el macrocosmos y el microcosmos humano en virtud de la existencia de un sistema de correspondencias entre los 4 elementos que componen el universo, los 4 humores del cuerpo humano, las 4 estaciones del año e, incluso, los 4 puntos cardinales. Sigue una segunda parte en la que se trata de aplicar los principios a los casos concretos del régimen de vida del individuo a lo largo de las estaciones del año de acuerdo con su complexión (equilibrada, sanguínea, biliar, flemática, colérica), según su edad (niños y ancianos reciben un tratamiento específico) o según se encuentren o no en circunstancias excepcionales (se analiza el caso de los viajeros). Si bien la obra, en su conjunto, carece de originalidad dentro de la literatura médica árabe— en la que tratados de Higiene de esta índole son frecuentes -- sí la tiene en el seno de la literatura médica andalusí en la que es el primer libro independiente de esta índole. Hemos visto (§ 2.4.3) que este tipo de Higiene apunta claramente en la tradición de los calendarios populares como el *Calendario de Córdoba* y que, en último término deriva de obras hipocráticas como la *Dieta* y *Aires, aguas y lugares*. Pese a ello, una obra de la extensión y envergadura de la de Ibn al-Jaṭīb constituye una novedad en al-Andalus. Por otra parte, su estilo es radicalmente distinto al del *ᶜAmal*: ha desaparecido la erudición y resurge, en cambio, la talla literaria de Ibn al-Jaṭīb

[155] Ed. y trad. de C. Vázquez de Benito, *Libro del cuidado de la salud durante las estaciones del año o "Libro de Higiene" de Muḥammad b. ᶜAbdallāh b. al-Jaṭīb*, Salamanca, 1984; cf. también el artículo de la misma autora «El *Kitāb al-wuṣūl li-ḥifẓ al-ṣiḥḥa fī-l-fuṣūl* de Lisān al-Dīn ibn al-Jaṭīb», *Boletín de la Asociación Española de Orientalistas* 13 (1977), 159-174; Jaṭṭābī, *al-Ṭibb wa-l-aṭibbā'* II, 189-238.

que trata el tema con mucho sentido común y de forma asequible para un público lector formado por gentes cultas pero no necesariamente médicos. Se trata, sin duda, de una obra de divulgación bien hecha.

6.3.4 LA TECNOLOGIA: NORIAS Y RELOJES.

He aludido ya, en § 6.3.3.3, a algunos aspectos de la tecnología militar y, muy especialmente, a la introducción de las primeras armas de fuego. Me queda por mencionar dos aspectos de la tecnología civil granadina. El primero de ellos se relaciona con dos temas que he planteado al comienzo de este capítulo (§ 6.1): el de la emigración de sabios andalusíes hacia el Magrib y el de la influencia cristiana en el desarrollo de la ciencia nazarí. Me refiero a la figura del ingeniero andalusí que construyó una gran noria en Fez. Los datos aparecen en la biografía que Ibn al-Jaṭīb dedica a Muḥammad ibn al-Ḥāŷŷ (m. 1314)[156] en la que aquel señala que su padre era un «carpintero *mudéjar* de Sevilla, conocedor de los ingenios mecánicos y experto en las rudas máquinas de guerra y en construcción». Refiere, a continuación, que se trasladó a Fez en tiempos del sultán meriní Abū Yūsuf al-Manṣūr (1258-1286) y que construyó, en la ciudad nueva, una gran rueda hidráulica, de gran diámetro y numerosos cangilones, que atraía a numerosos visitantes. Este texto llamó la atención de Colin[157] quien atribuyó la construcción de la noria a Muḥammad, el biografiado. En fecha más reciente, Puig[158] ha llamado la atención sobre el hecho de que, pese a la ambigüedad de este pasaje, Ibn al-Jaṭīb no atribuye a Muḥammad b. al-Ḥāŷŷ, en el resto de la biografía, actividades propias de un científico o un ingeniero y se limita a glosar su carrera política tanto en Granada como en Marruecos[159]. Por esta razón Puig sugiere, creo que con razón, que el

[156] Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa* ed. ᶜInān I, 139-141.

[157] G.S. Colin, «L'origine des norias de Fès», *Hespéris* 16 (1933), 156-157.

[158] R. Puig, «Dos notas sobre ciencia hispano-árabe a finales del siglo XIII en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb», *Al-Qanṭara* 4 (1983), 437-440.

[159] Tiene interés, no obstante, recoger lo que dice Ibn al-Jaṭīb acerca del grado de hispanización al que había llegado Muḥammad b. al-Ḥāŷŷ: "Las gentes le reprocharon el que sintiera inclinación por los dichos de los *rūm* y el que se rebajara a sentir afecto por ellos y a imitarles en su manera de comer y de

constructor de la noria fue el padre de Muḥammad b. al-Ḥāŷŷ, cuyo nombre desconocemos: un carpintero residente en la Sevilla cristiana, conocedor de los ingenios mecánicos (*al-ḥiyal al-handasiyya*) y de las máquinas de guerra. Por otra parte, es posible que en la noticia haya algo más que la construcción de una simple noria dada la expectación que produjo el invento. León Africano habla de una noria de Fez construida por un «español» que, por más fuerza que llevara la corriente, daba sólo veinticuatro vueltas al día. Este testimonio movió a Puig a sugerir que el texto de León Africano podría ser una oscura alusión a un reloj cuyo mecanismo estaría movido por una rueda hidráulica, similar al construido, en la China del siglo XI, por el astrónomo y matemático Su Sung (cf, también § 4.2.3)[160]. La posibilidad es, realmente, atractiva aunque difícil de demostrar.

Un último dato a señalar acerca del desarrollo tecnológico en la Granada Nazarí ha sido puesto de relieve recientemente por García Gómez[161]: con ocasión de su reposición en el trono el 16.3.1362, Muḥammad V celebró con gran pompa y solemnidad la fiesta del nacimiento del Profeta (*mawlid*) el 30 de Diciembre del mismo año. La celebración en la Alhambra empezó en el momento de la puesta del sol, a las 16;55^h, con el rezo colectivo por parte de todos los invitados de la oración del *magrib*, y la fiesta terminó después de la oración de la aurora (*al-ṣubḥ*), a las 3;55^h de la madrugada. A lo largo de la noche fueron sonando las horas que marcaba un curioso reloj que nos describe Ibn al-Jaṭīb[162]. El aparato (*minkān*) constaba de una estructura hueca de madera, con una altura de una *qāma* (casi 1.70 m.) y forma de prisma dodecagonal. En la parte superior

hablar, así como en otras muchas circunstancias, casos y actitudes en los que manifestaba su aprobación, y el que adornara sus coloquios con refranes y proverbios suyos [i.e. de los *rūm*]. Esto era una característica que había marcado su inteligencia por haber crecido entre ellos y ya que, en una primera etapa, esta influencia había hecho mella en las fuerzas de su razón adquiridas en las mansiones [de los cristianos]...era un caso único en su tiempo en lo relativo a la lengua y a las costumbres de los *rūm*". Cf. J. Samsó, «Dos colaboradores científicos» pp. 175-176.

160 J. Needham, *Science and Civilisation in China* IV-2 (Cambridge, 1965), 447-465.

161 E. García Gómez, *Foco de antigua luz sobre la Alhambra desde un texto de Ibn al-Jaṭīb en 1362*. Madrid, 1988.

162 García Gómez, *Foco de antigua luz* pp. 131-132 (texto árabe), 154-155 (traducción) y 82-101 (comentario de García Gómez).

de cada uno de los doce lados se encontraba una concavidad (*miḥrāb*) con puertas cerradas por un pestillo. Este pestillo engarzaba, a su vez, con una varilla de hierro que bloqueaba un agujero situado en el interior del *miḥrāb* e impedía la caída de una bola de cobre, del tamaño de una avellana. Por encima del *minkān* se encontraba un cirio en el que se habían trazado divisiones correspondientes a las horas nocturnas de aquella noche. De cada una de las divisiones salía un cordel que iba a parar al pestillo del *miḥrāb* correspondiente. El funcionamiento era simple: encendido el cirio, se iba consumiendo hasta que transcurría la primera hora. Entonces se quemaba el cordel que dejaba libre el pestillo y se abría la puerta del primer *miḥrāb*, arrastrando consigo la varilla de hierro. Quedaba, entonces, abierto el agujero y la bola de cobre caía en un plato metálico situado debajo de cada *miḥrāb* con lo que se producía un sonido. Por otra parte, en el pestillo se encontraba también un billete que contenía un poema relativo a la hora transcurrida. Al abrirse las puertas del *miḥrāb*, aparecía el billete y el encargado del reloj se lo entregaba a un lector para que recitase los versos correspondientes.

El texto de Ibn al-Jaṭīb, aunque no da excesivos detalles técnicos, resulta suficientemente explícito. El *minkān* granadino se diseñó, sin duda, para la fiesta del *mawlid* de 1362 y no para un uso permanente. Se basaba en un principio elemental: el uso de una vela provista de las oportunas divisiones para medir el tiempo, procedimiento que debía ser bastante común y sobre el que tenemos, por lo menos, otro testimonio a propósito de Muḥammad III (1301-1308) el cual, según Ibn al-Jaṭīb, «se hacía fabricar grandes cirios especiales en los que estaban marcadas señales que le informaban del transcurso de las horas nocturnas y de las partes de la noche»[163]. El sistema recuerda más el reloj de candela (*ṭurayyā*) descrito por Qāsim b. Muṭarrif a mediados del siglo X (cf. § 2.4.2) que los complejos autómatas de Ibn Jalaf al-Murādī en el XI (§ 4.2) o las clepsidras de Fez del siglo XIV[164]. El *minkān* de Muḥammad V era, sin duda, barato y esto nos lleva a plantearnos una última cuestión: ¿se debía su carácter rudimentario a incapacidad tecnológica o bien a razones de índole económica?.

[163] García Gómez, *Foco de antigua luz* p. 95.

[164] D.J. de Solla Price, «Mechanical water clocks of the 14th century in Fez, Morocco», *Actes du Dixième Congrès International d'Histoire des Sciences* (Ithaca, 1962), 599-602; cf. también García Gómez, *Foco de antigua luz* pp. 82-93.

6.4 CONCLUSIONES.

El reloj que acabo de describir puede ser un símbolo de la decadencia de la ciencia durante la etapa nazarí. Se trata de un período largo, de más de dos siglos, en el que resulta fácil detectar una actividad científica, aunque nuestros conocimientos sobre la misma se limiten a los siglos XIII y XIV. La causa es obvia y se debe a que la obra de Ibn al-Jaṭīb, su *Iḥāṭa* sobre todo, domina el panorama cultural de la época y constituye la fuente básica a la que hemos recurrido constantemente. A la muerte, en 1375, del polígrafo granadino, nos quedamos sin guía y no sabemos casi nada de lo que sucede en el siglo XV, si exceptuamos figuras esporádicas como la de al-Qalaṣādī. Dentro del marco de lo que sabemos hay que destacar ciertas iniciativas gubernamentales de gran trascendencia -- que hubiera sido mucho mayor si se hubieran producido en otro período más fructífero -- como la fundación de la *madrasa* y, tal vez (?), del hospital; un entronque cada vez más fuerte con el Magrib, en el que se está produciendo un desarrollo cultural y científico importante; ciertos conatos de establecer contactos con Oriente que no son suficientes para introducir en al-Andalus las aportaciones de la renovación científica que se desarrolla allí a partir del siglo XIII; indicios, cuya importancia tal vez he exagerado, de una cierta influencia de la cultura y ciencia de la España Cristiana en la Granada Nazarí; finalmente, una colección de personajes dedicados a la ciencia (Ibn al-Raqqām, los Ibn Bāṣo, al-Qalaṣādī, Muḥammad al-Šafra, al-Šaqūrī, Ibn al-Jaṭīb etc.) que, desde luego, son científicos competentes pero que no alcanzan, en absoluto, la talla de sus predecesores en la etapa almorávide y almohade. Recordemos, por último, que la Granada Nazarí parece haberse quedado retrasada en su desarrollo tecnológico pese a haber tenido oportunidades espectaculares (la aparición de la artillería es un caso sintomático). ¿Existe un desprecio por la tecnología, considerada propia de los artesanos y no de los hombres de ciencia?: resulta muy significativo al respecto -- si la interpretación de R. Puig resulta correcta (cf. *supra* § 6.3.4) -- que Ibn al-Jaṭīb omita el nombre del padre de Muḥammad b. al-Ḥāŷŷ, constructor de la noria de Fez, -- el cual, recordémoslo, pasa de la Sevilla cristiana a Marruecos, sin detenerse en Granada -- y se extienda en

cambio en el relato de las actividades políticas del hijo. Se ha producido, obviamente, una decadencia y una larga agonía pero resulta prematuro tratar de establecer sus causas.

INDICE DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.

Resulta innecesario añadir, a este volumen, una bibliografía que ya aparece, extensamente citada, en las notas a pie de página. En ellas he procurado dar, en cada capítulo, la referencia completa de cada libro o artículo citado por primera vez, limitándome a una abreviatura en las menciones sucesivas. Esto no ha resultado difícil ya que la mayor parte de la bibliografía pertinente es eminentemente especializada y afecta, por lo general, a un único capítulo, por lo que el lector no tendrá dificultades en localizar las citas completas. Puede, en cambio, tener problemas con ciertas fuentes y con la escasa bibliografía de carácter general que he mencionado. Recojo, por ello, aquí, las abreviaturas utilizadas para este tipo de bibliografía, así como las siglas que he empleado para ciertas colecciones de artículos, de uno o varios autores, que he citado profusamente a lo largo de todo el libro.

- *Almagesto* trad. Toomer: G.J. Toomer, *Ptolemy's Almagest*, translated and annotated by..., Nueva York, Berlín, Heidelberg, Tokio, 1984.

- *ARII2*: J. Vernet, *De ᶜAbd al-Raḥmān I a Isabel II. Recopilación de estudios dispersos sobre Historia de la Ciencia y de la Cultura Española ofrecida al autor por sus discípulos con ocasión de su LXV aniversario*, Barcelona, 1989.

- Bolens, *Agronomes andalous*: L. Bolens, *Agronomes andalous du Moyen Age*, Ginebra-París, 1981.

- *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus*: E. García Sánchez (ed.), *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus. Textos y Estudios. I*, Granada, 1990.

- *D.S.B.*: Ch. C. Gillispie (ed.), *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols., Nueva York, 1970-1980.

- *E.H.C.A.*: J. Vernet (ed.), *Estudios sobre Historia de la Ciencia Arabe*, Barcelona, 1980.

- *E.H.C.M.*: J. Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval. Reedición de trabajos dispersos, ofrecida al autor por sus discípulos con ocasión de los veinticinco años de su acceso a la cátedra de la Universidad de Barcelona*, Barcelona-Bellaterra, 1979.

- *E.I.*^{2}: *Encyclopédie de l'Islam. Nouvelle édition* de la que han aparecido 6 vols., Leiden-París, 1960-1990.

- *From Deferent to Equant*: D.A. King y G. Saliba (eds.), *From Deferent to Equant. A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E.S. Kennedy*. "Annals of the New York Academy of Sciences" vol. 500, Nueva York, 1987.

- Ibn Bassām, *Ḏajīra*: Ibn Bassām, *al-Ḏajīra fī maḥāsin ahl al-ŷazīra*. Ed. I. ᶜAbbās, 8 vols., Beirut, 1979.

- Ibn Ḥayyān, *Muqtabas* ed. Makkī: Ibn Ḥayyān, *al-Muqtabas min anbā' ahl al-Andalus*, Ed. M. ᶜA. Makkī, Beirut, 1973.

- Ibn al-Jaṭīb, *Iḥāṭa*: Ibn al-Jaṭīb, *al-Iḥāṭa fī ajbār Garnāṭa*. Ed. M. ᶜA. ᶜInān, 4 vols., El Cairo, 1973-1977.

- Kennedy, *Geographical Coordinates*: E.S. y M.H. Kennedy, *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources*, Frankfurt a.M., 1987.

- *L.C.A.*: J. Vernet y J. Samsó (eds.), *El legado científico andalusí*, catálogo de la exposición presentada en el Museo Arqueológico Nacional (Madrid, abril-junio 1992), Ministerio de Cultura (Centro Nacional de Exposiciones) y Ministerio de Asuntos Exteriores (Instituto de Cooperación con el Mundo Arabe), Madrid, 1992.

- Maqqarī, *Nafḥ*: al-Maqqarī, *Nafḥ al-ṭīb min gusn al-Andalus al-raṭīb*. Ed. I. ᶜAbbās, 8 vols., Beirut, 1968.

- Millás, *Assaig*: J. Millás Vallicrosa, *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya Medieval*, vol. I, Estudis Universitaris Catalans, Sèrie Monogràfica, Barcelona, 1931.

- Millás, *Azarquiel*: J.M. Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel*, Madrid-Granada, 1943-50.

- *N.E.A.E.S.A.X.*: J. Vernet (ed.), *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el Siglo de Alfonso X*, Barcelona, 1983.

- Neugebauer, *H.A.M.A.*: O. Neugebauer, *History of Ancient Mathematical Astronomy*, 3 vols, Berlín, Heidelberg, Nueva York, 1975.

- *O.E.Y.A.F.*: M. Comes, H. Mielgo y J. Samsó (eds.), *"Ochava Espera" y "Astrofísica". Textos y Estudios sobre las Fuentes Arabes de la Astronomía de Alfonso X*, Barcelona, 1990.

- Rico, *Libros*: M. Rico y Sinobas, *Libros del Saber de Astronomía del Rey D. Alfonso X de Castilla*, 5 vols., Madrid, 1863-1867.

- Ṣāᶜid, *Ṭabaqāt*: Ṣāᶜid al-Andalusī, *Kitāb ṭabaqāt al-umam*, Ed. Ḥ. Bū ᶜAlwān, Beirut, 1985; trad. francesa de R. Blachère, *Kitâb Ṭabakat al-Umam (Livre des Catégories des Nations)*, Paris, 1935.

- Sezgin, *G.A.S.*: F. Sezgin, *Geschichte des arabischen Schriftums bis ca. 430* en curso de publicación en Leiden desde 1971. Interesan, aquí, los volúmenes siguientes: Band IV: *Alchemie, Chemie, Botanik, Agrikultur*; Band VI: *Astronomie*; Band VII: *Astrologie, Meteorologie und Verwandtes*.

- *S.I.E.S.*: E.S. Kennedy, Colleagues and Former Students, *Studies in the Islamic Exact Sciences*, Beirut, 1983.

- *T.E.A.E.S.XIII*: J. Vernet (ed.), *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII*, Barcelona, 1981.

- Vernet, *Cultura hispanoárabe*: J. Vernet, *La cultura hispanoárabe en Oriente y Occidente*, Barcelona, 1978.

INDICE ONOMASTICO Y DE MATERIAS

ᶜAbbādíes, dinastía reinante en Sevilla en el período taifa, 126.
ᶜAbbās b. Firnās (m. 887) 50, 53, 175, 249;
clepsidra, 55; conato de vuelo en la Ruzafa, 54; esfera armilar, 55; «planetario», 54-55; reloj, 56, 60; talla del cristal de roca, 54.
ᶜAbbās b. Nāṣiḥ (m. después del 844), 46, 50, 51.
ᶜAbbās, I., 22, 29, 64, 77, 79, 198, 249, 260.
ᶜAbd al-Gānī Ḥasan, M., 432.
ᶜAbd al-Ḥamīd ᶜĪsà, M., 46, 395, 398.
ᶜAbd al-Malik b. Ḥabīb (m. 853).
alquibla, 63; Historia, 24, 26; obra astronómica, 51; obra médica, 47, 48
ᶜAbd al-Malik b. Marwān, 24.
ᶜAbd al-Malik b. Zuhr (m. c. 1078), 310, 371.
Balneoterapia, 268
ᶜAbd al-Mu'min, califa almohade (1130-1163) 308, 372, 373, 374.
ᶜAbd al-Raḥmān al-Ŷillīqī, 58.
ᶜAbd al-Raḥmān b. ᶜĪsà b. Muḥammad (m. 1080), 127.
ᶜAbd al-Raḥmān b. Isḥāq b. al-Hayṯam, médico y botanista, 113.
ᶜAbd al-Raḥmān I (756-788), 20, 21, 22, 43, 43, 45, 52, 65, 66, 110, 277.

ᶜAbd al-Raḥmān II (821-852), 20, 32, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 75, 77, 79, 94, 110, 111, 111, 123, 138, 175, 298.
ᶜAbd al-Raḥmān III (912-961), 40, 46, 55, 64, 112, 113, 123, 133, 251, 298, 298.
ᶜAbd al-Wādíes (Tremecén), 391.
ᶜAbd Allāh al-Saraqusṭī (m. 1058), de la escuela de Maslama, 133.
ᶜAbd Allāh b. Aḥmad al-Ṭulayṭulī, 28.
ᶜAbd Allāh b. Muḥammad al-Sārī, 259.
ᶜAbd Allāh (888-912), emir de Córdoba, 40.
ᶜAbd Allāh, último rey zīrí de Granada (1075-1090), 126, 241, 286, 307.
ᶜAbd Allāh b. Aḥmad al-Ṭulayṭulī (s. XI), 129.
ᶜAbd Allāh Yūsuf al-Ganīm, 248.
ᶜAbd (o ᶜUbayd Allāh) b. Yūnus al-Muhandis (s. XII), 296, 309.
Aben Cenif, 281.
Abisinia, 280.
Abisinios, 266.
Abono, «elemento» en la teoría agronómica, 292, 300-301.
clasificación, 290; Abonos animales, 301; Abonos compuestos, 301.
Abraham b. ᶜEzra (c. 1090-c. 1164-67), 86, 87, 89, 208.
Abraham Hebreo, colaborador de Alfonso X, 107.
Abū ᶜAbd Allāh al-Faraḍī, 259.
Abū ᶜAbd Allāh al-Sāḥilī, fundador de la madrasa de Málaga (c. 1334), 395.
Abū ᶜAbd Allāh al-Ṣaqillī, médico y botanista, 113.
Abū ᶜAbd Allāh el Droguero, 279.
Abū ᶜAbd Allāh [ibn] Ḥamdūn al-Išbīlī, 286.
Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad al-Nāṣir, califa almohade (1199-1213), 308, 322.
Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Ṣāliḥ al-Ḥarīrī al-Šaŷŷār, 362.
Abū ᶜAbd Allāh, último rey de Granada (Boabdil) (1482-1492), 405.
Abū ᶜAlī al-Ḥasan al-Marrākušī (s. XIII), 150, 208, 209, 212, 321.
Abū Aŷfān, Muḥammad, 393, 398, 404.
Abū Ayyūb b. ᶜAbd al-Gāfir b. Muḥammad, 84.
Abū Bakr b. Abī ᶜĪsà, 84.
Abū Bakr b. Zuhr (1113-1199) 369, 372.
Abū Ḥāmid al-Garnāṭī (1080-1169), 70, 311, 312.
Abū Ḥanīfa al-Dīnawarī (m. c. 895), 273, 285, 288, 365, 383.
Abū Ibrāhīm, alfaquí en tiempo de al-Ḥakam II, 64.
Abū Isḥāq b. Lubb, al-Quwaydis (m. 1062), 84.

Abū Isḥāq Ibrāhīm al-Išbīlī (m. 1029), 127.
Abū Isḥāq Ibrāhīm b. Idrīs al-Tuŷībī (m. 1062), 145.
Abū Kāmil Šuŷā° b. Aslam al-Miṣrī (c. 850–c. 930), 82, 403.
Abū-l-°Abbās al-Maŷūsī, 365.
Abū-l-°Alā' Zuhr (c. 1060–1131) 308, 310, 361, 368, 369, 371, 372.
Abū-l-Barakāt al-Bagdādī (m. post 1164), 346, 347, 360.
Abu-l-Faḍl Ḫasdāy b. Yūsuf b. Ḫasdāy, 133.
Abū-l-Ḫariṯ, obispo mozárabe, 129.
Abū-l-Ḥasan °Alī al-Kātib (m. 1029), cf. al-Kātib al-Andalusī.
Abū-l-Ḥasan Sufyān al-Andalusí, 367.
Abū-l-Ḥasan, sultán meriní (1331-1351), 399.
Abū-l-Jayr al-Šaŷŷār al-Išbīlī, 280, 282, 283, 305, 363, 383.
identificado con el Botánico Anónimo, 282, 363.
Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī (c. 936– c. 1013), 47, 116, 117, 130, 272, 275, 304, 365, 369, 371, 385, 438, 439, 440.
Anatomía, 119; Patología, 119; hemofilia, 120; Cirugía, 121-123; cauterización, 121 Cirugía plástica, 122; Obstetricia, 122; Traumatología, 122; Flebotomía, 122; tratamiento quirúrgico de la hidrocefalia, 121; tratamiento quirúrgico del cáncer, 121; Instrumental quirúrgico, 122, 123; espéculo vaginal, 123; fórceps obstétrico, 123; técnicas de sutura, 121, 122; Farmacología, 120; grado galénico de un fármaco compuesto, 120; técnicas de laboratorio, 120; tratado sobre los *aḏhān*, (aceites), 54; Cosmética, 120; presunta obra agronómica, 278, 282, 286, 290.
Abū-l-Qāsim b. °Abd al-Raḥmān, [ibn] al-Zarqāl, 249.
Abū-l-Qāsim Muḥammad b. °Abbād, 198 y cf. al-Mu°tamid.
Abū-l-Ṣalt Umayya de Denia (c. 1067-1134), 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 334.
ecuatorio, 205, 314-317, 334; Lógica, 317.
Abū-l-Šaŷŷār, 199 y cf. °Alī b. Jalaf.
Abū-l-Ṭāhir Tamīm, gobernador de Granada (1107-1110), 286.
Abū-l-Wafā' al-Buzŷānī, 141, 142, 156, 166.
Abu Ma°šar, *Kitāb al-ulūf*, 48, 260.
Abū Manṣūr al-Bagdādī (m. 1037), 407.

Abū Marwān ᶜAbd al-Malik b. Zuhr (c. 1091-1161), 127, 268, 308, 310, 361, 368, 369, 371-375, 377-378, 382, 429, 440.
Abū Marwān ᶜUbayd Allāh b. Jalaf al-Istiŷī, 28, 221, 222, 237, 239.
Abū Maslama Muḥammad al-Maŷrīṭī, 258.
Abū Naṣr Manṣūr b. ᶜAlī b. ᶜIrāq, 141, 142.
Abū Saᶜd Isaac, hijo de Abraham b. ᶜEzra, 346.
Abū Ṣafyā. Y., 41, 282, 284.
Abū Sahl al-Kūhī (fl. 988), 166.
Abū Sālim Ibrāhīm, sultán meriní (1359-1361), 439.
Abū Ṭālib al-Zayyāt (m.c. 951): cf. Ibn Waḥšiyya.
Abū ᶜUbayda Muslim b. Aḥmad al-Layṯī (m. 907), *ṣāḥib al-qibla*, 60, 64, 79.
Abū ᶜUṯmān al-Ŷazzār, médico y botanista, 113.
Abū Ŷaᶜfar Aḥmad b. Muḥammad al-Gāfiqī (s. XII), 361.
Abū Ŷaᶜfar b. ᶜAbbās, dueño de una gran biblioteca, 127.
Abū Yaᶜqūb Yūsuf, califa almohade (1163-1184), 308, 370, 376.
Abū Zakariyyā', monarca de Túnez (1236-1249), 392.
Abulcasis cf. Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī.
Aceite de oliva: virtudes dietéticas, 378.
Aceña, 298.
Acimut de la alquibla, cf. alquibla.
Aclimatación de plantas, 20-22, 278-280.
Adam de Bremen (fl. 1069), 248.
Adelardo de Bath (fl. 1116--1142), 86, 87, 88.
Aḏhān, aceites, 54.
Adormidera (*jašjāš*), 269.
Afiyūn: cf. opio.
Aforismo, manual de Medicina bajolatino, 40.
Africa, 28.
Agathodaemon, 260, 264.
Agricultura Nabatea: cf. *Filāḥa Nabaṭiyya*.
Agricultura
  calendario de trabajos agrícolas, 302; instrumental, 289, 292; Agrimensores, 293
Agrimensura (*taksīr*), 82, 427.
Agronomía
  andalusí de tradición latina, 41-42, 285, 277, 808, 289; en el período taifa, 144, 245, 277-305; autores del período taifa, 280-287; escuelas, 278; posterior a la etapa taifa, 361, 381-384, 427-428; confluencia de tradiciones, 287-289; jardines botánicos, 20-22, 144, 277, 289; ensayos de aclimatación de plantas, 20-22, 278-280; recurso a la experiencia, 289; teoría agronómica, 289-304; Botánica, Farma-

cología y Medicina influyen en su base teórica, 289-291; clasificación de las plantas, 290; cuatro «elementos» (*arkān*), 290-301, 428; Barbecho, 292, 300; injertos, 290; rotación de cultivos, 300; defensa de parásitos, enfermedades de las plantas y catástrofes, 303, 304; Agronomía y superstición, 302-304.
Agua, «elemento» en la teoría agronómica, 293-299
clasificación de las aguas, 290, 293; procedimientos de captación, 294-297.
Aguadé, J., 25.
Agustín de Rojas (1572- c. 1618), 54.
Ahl al-taᶜdīl (astrónomos), 64.
Aḥmad b. Fāris al-Baṣrī, astrólogo de al-Ḥakam II, 78.
Aḥmad b. Muḥammad al-Gāfiqī, 364.
Aḥmad b. Muḥammad b. Yūsuf al-Anṣārī, astrólogo de Muḥammad VI, 409.
Aḥmad b. Yūnus al-Ḥarrānī, 48.
Aḥmad Bābā, 413.
Aḥmad b. Ṭulūn, emir egipcio, 399.
Aḥmad II al-Mustaᶜīn bi-llāh, rey de Zaragoza, (1085-1110), 270.
al-Ahwānī, ᶜAbd al-ᶜAzīz, 279.
Aire, «elemento» en la teoría agronómica, 299.
Ajbār Maŷmūᶜa, 58, 59.
ᶜAlā' al-Dīn Ṭībugā (m. 1394), 131.
Alanje (Badajoz), 57.
ᶜAlawī, Ŷ.D., 250, 331, 335, 337, 357.
Alba, 156.
Albolafia, gran noria de Córdoba, 298.
Alcira, 391.
Alcoatin (Alcoatí), Salomo filius Arit ((¿Sulaymān b. Ḥāriṯ al-Qūṭī?, fl. 1059) 308, 370, 389.
Alejandría, 169, 177, 311, 313, 393.
Faro, 311.
Alejandro de Afrodisia, 273, 341, 357.
Alejandro IV, Papa, 396.
Alfaquíes: poder en la etapa almorávide, 310.
Alfóncigo, 303.
Alfonso VI: conquista de Toledo (1085), 251, 278, 307.
Alfonso X, 28, 130, 220, 252, 327, 388, 396, 397, 414.
Almanaque, 168; Armellas, 158, 175; Astrolabio, 95; astrolabio esférico, 97, 98, 175; Azafea, 158, 161; Cosmología de Ibn al-Haytam, 107, 204; Cuadrante Sennero, 327; ecuatorios, 105-110, 200, 211; Lámina

universal, 158, 185, 188; Libros del Saber de Astronomía, 153, 158; Picatrix, 261; presuntas traducciones agronómicas 281, 284; Tablas Alfonsíes, 146, 156, 219, 242.
Algarrobas, 300.
Algebra, 82, 83, 403, 404, 407, 408, 409.
ecuaciones indeterminadas, 403
Algeciras, 29, 438.
Algodón, 294, 300.
ᶜAlī al-Šaŷŷār: cf. ᶜAlī b. Jalaf.
ᶜAlī b. ᶜAbbās al-Maŷūsī, 273.
ᶜAlī b. Jalaf, Abū-l-Ḥasan b. Aḥmar al-Ṣaydalānī (s. XI), 131, 132, 144, 150, 182.
lámina universal, 145, 181-187, 196-199, 418, 420.
ᶜAlī b. Muḥammad b. Ismāᶜīl (m. 987), 86.
ᶜAlī b. Muḥammad b. Saᶜd (s. IX), 288.
ᶜAlī b. al-Muṯannà, 86, 87.
ᶜAlī b. Rabbān al-Ṭabarī (m.c. 855), 118, 365.
ᶜAlī b. Sulaymān al-Hāšimī, 184.
ᶜAlī b. Yūsuf b. Tašufīn (1107-1143), 296, 309, 372.
Alidadas (*al-ᶜaḍā'id*), 172, 173.
Alimentación, 437.
Aljarafe, 284, 382.
Almadén, minas de, 251.
Almagesto, 47, 92, 93, 108, 111, 151, 168, 172, 173, 178, 206, 216, 331.
Almagro, A., 61, 64.
Almanaque de Azarquiel, 166-171.
apogeos planetarios, 169; tablas solares, 169.
Almanaques perpetuos, 166—171.
Almanzor: cf. al-Manṣūr b. Abī ᶜĀmir.
Almería, 127, 127, 145, 270, 286, 298, 307, 393, 436.
entrada de los almorávides (1091), 271; jardín botánico, 279.
Almohades 307 y ss.
Almorávides, 125, 307 y ss.
entrada en Almería (1091), 271.
Alonso, M., 378.
Alpetragius: cf al-Biṭrūŷī.
Alquibla, acimut de la, 24, 60-66, 314, 413, 415.
«método de los *zīŷes*» 161, 164-166; *dalā'il al-qibla*, 61.
Alquimia, 246, 257-261, 265, 304, 361.
laboratorios en Córdoba en el s. X, 259; técnicas de laboratorio, 260.
Altramuces, 300.
Alubia, 280.
Alvar, M., 299.
Alvarez de Morales, C., 47, 260, 267, 270, 273, 275, 303, 362, 368, 374, 376, 383.

ᶜĀmir, constructor de un *qanāt* en el s. VIII, 59.
Amir Dowlat (s. XV), 366.
ᶜĀmiríes, dinastía de dictadores en las postrimerías del Califato, 132.
ᶜĀmiríes, dinastía reinante en Denia en el período taifa, 126.
Ammonio, hijo de Hermías, de Alejandría (fl. 503 de J.C.), 169.
Ampolleta o reloj de arena, 248.
Analemma, 184, 194, 414.
Anatolio de Berito: cf. Vindanio Anatolio de Berito.
Anatomía, 117, 119.
al-Andalus, 16.
Animales dañinos, 303.
Animales domésticos, 303.
Anónimo magribí (ss. XIV–XV), 50, 58.
Año
lunar, 134; sidéreo, duración según Azarquiel, 212, 213; bisiesto, intercalación, 89; límite, 167, 168.
añora, 299.
anoria, 299.
Antuña, M., 435.
Anwā', 27, 51, 61, 62, 68, 70, 72, 72, 302.
Apogeo solar según Azarquiel, 211-213.
Apolonio de Tiana, 260, 288.
Apolonio, Cónicas, 135, 136, 137, 312.
Arabe, lengua, 16, 17.
Arabes andalusíes, enfrentados a bereberes, 126.
Arabia, 365.
Arato de Solos, 73.
Argelia, 305.
ᶜArīb b. Saᶜīd (c. 912- c. 980), 123, 278, 383.
Calendario de Córdoba, 71, 75, 117; Generación del Feto, 116-118; Medicina astrológica, 118.
Arié, R., 387, 391, 396, 430, 434, 435, 436.
Arín-Córdoba, diferencia en longitud, 89, 90.
Aristóteles, 260, 268, 273, 291, 292, 335, 337, 341, 356, 357, 359, 366, 367, 375, 376, 384.
De anima, 265; Física, 332.
Aritmética, 81, 82, 83, 272, 406, 407.
en el período taifa, 132, 133, 137, 138, 139; aritmética comercial, cf. *al-muᶜāmalāt*; concepto de razón y proporción, 135, 137, 138, 139; números poligonales, 137; series aritméticas, 137; teoría de los números, 134, 135.
Arjona, 387.
Arkand, 79.
Armilla (*ḥalqa*), 172.
acimutal, 173; equinoccial, 172; meridiana 318; en la esfera armilar de Azarquiel, 178.

Arnáldez, R., 340, 342, 369, 375, 377.
Arnau de Vilanova, 369.
Arquímedes, 82, 135.
Arribas, Ibrāhīm b. Gānim (fl. 1630-1632), 433.
Arroz, 294.
Artillería, 432, 433, 445.
Aṣbag, maestro de los carpinteros bajo el emir Muḥammad, 55.
Ascensiones oblícuas, 76.
Aṣḥāb al-mumtaḥan, 73.
Asia Menor, 365.
Asín Palacios, M., 20, 42, 129, 279, 280, 284, 290, 311, 363, 367.
Asma, 380.
Astrolabio, 51, 93-98, 131, 172, 175, 177, 183, 248, 417, 418, 419, 420.
aplicación a la división de las casas, 105; calendario zodiacal, 33, 34, 314; lámina general de Ibn Bāṣo, 412, 418-420; procedimientos para dividir la eclíptica, 94; procedimientos para dividir la proyección del horizonte, 94; procedimientos para proyectar las estrellas fijas, 94.
Astrolabio-ecuatorio, 109.
Astrolabio esférico (*asṭurlāb kurī*), 97-99, 175.
Astrolabio, instrumento para medir desniveles, 292.
astrolabio lineal, 416.
Astrolabon, 178, 318.
Astrología, 246, 254, 265, 409, 410, 411, 412, 435.
andalusí de tradición latina, 27-36; asociada a la Alquimia, 260; asociada a la Magia, 263; aspectos, 32; bajo ᶜAbd al-Raḥmān II, 49-56; conjunciones, 32, 48, 80, 81, 84; determinación del ascendente y el medio cielo, 155; división de las casas de la eclíptica, 30, 153, 157-161; duración del embarazo, 321; eclipses, 32; entre c. 850 y 1031, 75-110; horóscopos, 26, 29, 51-52, 78-79, 90, 103, 409-412; interesa a la dinastía zīrí de Granada, 126; médica, 118, 321; meteorológica, 35; proyección de rayos, 90, 91, 252, 321; triplicidades, 32, 81.
Astrólogos: existencia de un *dīwān* en la Córdoba Omeya, 51.
Astronomía
en tiempos de ᶜAbd al-Raḥmān II, 49-56; entre c. 850 y 1031, 75-110; en el período taifa, 134, 144-244; en la etapa almorávide y almohade, 313-356; en la Granada Nazarí, 409-427; astronomía física (*hay'a*), 76-77, 83-84, 240-241, 330-356, 385; astronomía matemática 214, 240, 313-330, 333; cometa

de Halley, 50; distancias y tamaños de los planetas, 77, 241; eclipses 27, 32, 49, 37, 49, 153; ecuante, 340; esferas celestes y motores, 340; instrumentos, 51, 55, 68, 93-110, 131, 145, 148, 150, 158, 161, 166, 171-207, 313-320, 398, 413-420; interesa a la dinastía zīrí de Granada, 126; Luna, 24, 26-27, 33, 35, 70, 76, 91, 134, 154, 155, 157, 193, 195-196, 205, 218-219, 325, 331, 426; Mercurio, 201, 204-207, 214, 315, 327-328, 332-333; *mīqāt*, 24, 26-27, 60-75, 155-156, 161, 164-166, 312, 321, 412, 413; movimientos en espiral (*lawlab*) 341, 342, 344; movimientos planetarios y estelares en dos direcciones contrarias, 339-340, 348; oblicuidad de la eclíptica 73-74, 91, 177, 210, 224-226, 232-236, 324, 336; observaciones, 83, 148, 152-153, 173, 221, 232, 423; observatorios, inexistencia, 46; planetas, 32, 109, 130, 152, 154, 157, 205-207, 211, 214, 241, 324-325, 327-328, 332-334, 426-427; precesión de los equinoccios, 32, 109, 130, 152, 157, 205, 206, 211, 212, 219; Sol, 27, 33, 73, 146, 157, 169, 207-218, 248, 322, 324-325, 327-328, 332-333, 336, 340, 425-426; tablas, 47, 50, 52, 65, 68, 69, 73, 79, 80, 84-93, 97, 108-109, 141, 144, 146, 147-166, 168, 171, 173, 179, 181, 186, 205-207, 210, 213, 219, 221, 224-225, 239, 242, 308, 320-326, 421-427; trepidación, 146, 149-151, 157, 171, 205-206, 221, 222-240, 322-325, 352, 424-425; Venus, 204, 205, 207, 211, 327, 328, 333.

Asuán, 335.

Atlántico: navegación, 248.

Atmósfera: altura de la, 240-244.

Attié, B., 42, 280, 281, 282, 282, 283, 284, 285, 286, 288, 305.

Ausejo, E., 327

Autómatas, 55, 249-257.

Avempace: cf. Ibn Bāŷŷa.

Avenzoar: cf. Abū Marwān ᶜAbd al-Malik ibn Zuhr.

Averroes: cf. Ibn Rušd.

Avestruces, 110.

Avi-Yonah, R.S., 343.

Avicena: cf. Ibn Sīnā.

Awmātiyūs, 168, 169.

ᶜ*Aŷam* (no árabes), 89.

ᶜ*Aŷamiyya ᶜāmmiyya* (aljamía popular), 274.

ᶜ*Aŷamiyya rūmiyya* (aljamía rumí), 274.

ᶜ*Aŷamiyyat al-Andalus* (romance de al-Andalus), 274.
ᶜ*Aŷamiyyat Saraqusṭa* (romance de Zaragoza), 274.
Azafea, 131, 145, 171, 175, 180-199, 388, 398, 418.
ᶜ*abbādiyya*, 197, 199; cálculo de la paralaje lunar, 195-196; círculo de la Luna, 193, 195-196; *ma'mūniyya*, 197, 199; regla transversal (*muᶜtariḍa*), 193; *šakkāziyya* y *zarqāliyya*, 131, 187-199, 211.
Azarquiel (Abū Isḥāq Ibrāhīm b. Yaḥyà al-Naqqāš, al-Zarqālluh/al-Zarqiyāl, m. 1100), 86, 126, 131, 143, 144, 145, 147-152, 161, 166-240, 249, 250, 278, 309, 315, 320, 321, 323, 325, 330, 332, 333, 334, 337, 343, 384, 385, 390, 425, 426.
escuela y tradición 312, 314, 322, 352, 421, 424, 427; Almanaque, 166-171, 213, 248; astrónomo matemático, 214, 240; azafea: cf. Azafea; clasificación de instrumentos astronómicos, 171-175; corrección al modelo lunar ptolemaico, 218-219; determinación de la meridiana con el «círculo indio», 179; duración del año sidéreo, 212, 213; ecuación del Sol, 210; ecuatorio, 199-207, 211, 213, 227; ecuatorio: máxima ecuación del Sol, 207; ecuatorio: excentricidad de Mercurio, 206-207; ecuatorio: excentricidad de Venus, 207; ecuatorio: parámetros numéricos, 205-207; ecuatorio: radios de los epiciclos y excentricidades, 206-207; ecuatorio: trazado del deferente de Mercurio 201, 204, 205; esfera armilar, 175-180, 318; Estrellas Fijas, 83, 146, 149, 206, 209, 210, 212, 213, 221, 227-240; excentricidad solar, 213; investigaciones solares, 169, 207-218; modelo solar con excentricidad variable, 214-218, 320; modelos geométricos de trepidación, 151, 228-239; movimiento medio del Sol, 209-210; oblicuidad de la eclíptica en 1074-75, 210; observación del equinoccio de otoño de 1075, 210; observaciones lunares, 145; observaciones solares, 145, 210; observaciones, 148, 150; participación en las Tablas de Toledo, 148-150; posición del apogeo solar en 1074-75, 210; *al-ṣafīḥa al-zīŷiyya*: cf. ecuatorio; «Sobre el año solar» (*Fī sanat al-šams*), 146, 169, 207-218, 227; «Suma

relativa al Sol» (*al-Risāla al-ŷāmiᶜa fī-l-šams*), 208, 209; variaciones históricas de la excentricidad solar, 216-217; variaciones históricas de la oblicuidad de la eclíptica, 232-235.
Aziman, M., 278, 283, 284, 290, 292, 300, 301, 303.
Azud: cf. presas de derivación.
Azuda: cf. presas de derivación.
Babilonia, 28, 264, 265.
astronomía, 167; tradición agronómica, 287, 288.
Babilonios, 323.
Badajoz, 127, 307.
Badawī, ᶜA.R., 38.
Bag, A.K., 417.
Bagdad, 48, 111, 112, 135, 149, 364, 394.
observatorio de al-Šammāsiyya, 210.
Bajtišū b. Ŷūrŷīs, 365.
al-Bakrī, Abū ᶜUbayd (m. 1094), 52, 248, 267, 273, 365.
Balanza, instrumento para medir desniveles, 292.
Balanzas, para regular el movimiento de los autómatas, 255.
Balāṭa (cuadrante solar), 68, 103, 251, 254.
al-Balawī, Abū Ŷaᶜfar Aḥmad b. ᶜAlī, disc. de Qalaṣādī, 404.
Ballesteros, A., 397.
Balneoterapia, 268, 436.
Balyās, 288.
Banqueri, J.A., 287, 305, 381.
Banū Ḏī-l-Nūn, dinastía reinante en Toledo en el período taifa, 126.
Banū Ḥamdīn, familia de médicos, 111.
Banū Ḥaŷŷāŷ, 284.
Banū Hūd, dinastía reinante en Zaragoza en el período taifa, 126, 133.
Banū Mūsà (s. IX), 135, 251, 257.
Banū Ṣumādiḥ, reyes de Almería, 286.
Banū Waqār, 390.
Banū Zuhr, familia de médicos andalusíes, 310, 369, 371.
Banŷ: cf. verbasco.
Barbecho, 292, 300.
Barceló, M.C., 59, 98, 101, 289, 295, 297, 389.
Bargawāta, tribu beréber, 52.
Barhebraeus, Gregorio Abū-l-Faraŷ (1225-1286), 364.
Barqa, 393.
Barrāna (barrena), 289.
Barrow, Isaac, 139.
al-Basbāsī, médico y botanista, 113.
Baṣra, 399.
al-Battānī, 47, 73, 79, 92, 93, 177, 212, 214, 216, 236, 237, 238.
constante de precesión, 109; determinación de la alquibla, 65; movimientos medios planetarios, 151; tablas, 80, 97, 108, 146,

150, 151, 168, 173, 186, 219.
Bāŷa (Túnez), 405.
Baza, 393, 404, 406, 413.
Baznad (¿Bernat?), cirujano de Valencia, maestro de Muḥammad al-Šafra, 389, 434.
Benedetti: cf. Giambattista Benedetti.
Bejarano, I., 70, 311.
Berbería, 28.
Bereberes, enfrentados a árabes andalusíes, 126.
Berenjena, 294.
Berggren, J.L., 166, 182.
Bergmann, W., 95.
Bernardo de Verdún (fl. fin s. XIII), 208, 211, 213, 319-320.
Bernardo de Virduno (fin s. XIII): cf. Bernardo de Verdún.
Bernardo el Arábigo, 388, 389.
Biblioteca de al-Ḥakam II: destrucción, 71, 126, 127.
Bibliotecas particulares en al-Andalus, 47, 127.
Bibioteca Real en Córdoba, 46.
Biblioteca de Alejandría, 47.
Biela-manivela: precedente utilizado por Ibn Jalaf al-Murādī, 256.
Biqrāṭis, 262.
al-Bīrūnī, Abū-l-Rayḥān (973-1048), 32, 33, 51, 128, 141, 142, 156, 164, 166, 167, 182, 195, 207, 325, 415.
división de las casas, método del primer vertical (límites fijos), 158, 160, 161; *Maqālīd ʿilm al-hayʾa* («Claves de la astronomía»), 139.
al-Biṭrūŷī, Abū Isḥāq [ibn], Nūr al-Dīn (fl. 1185-1192) 131, 312, 330-356, 358, 385.
dinámica celeste, 344-348, 360; sistema astronómico 342-356; conocimientos astronómicos, 331, 332; modelo para las estrellas fijas, 349-352; modelos planetarios, 352-355; uso de deferentes y epiciclos polares, 352-355.
Bizancio, 46, 52, 55, 363.
tradición agronómica, 288.
Björnbo, A., 94.
Blachère, R., 19, 60, 71, 81, 82, 84, 92, 126, 128, 129, 130, 133, 134, 134, 136, 137, 146, 148, 150, 181, 221, 241, 257, 267, 268, 272, 275.
Bolens, L., 280, 283, 283, 285, 288, 289, 290, 291, 293, 294, 299, 300, 302, 303, 304, 305.
Bolos Demócrito (fl. c. 200 a. C.), 260, 273, 285, 288, 341, 383.
Bonacosa, 368.
Borro: cf. Girolamo Borro.
Botánica
hasta la caída del Califato (821-1031), 110-116; período taifa, 245, 267-277; almorávides y almohades, 312, 361-369; período nazarí, 428-430; clasificación de las plan-

tas, 290, 366, 367; ensayos de aclimatación de plantas exóticas, 20-22, 52, 110, 144, 277-280; estupefacientes, 366; Fecundación artificial de la palmera, 287; jardines botánicos 20-22, 43, 144, 277, 289, 363.
Botánico Anónimo, 129, 277, 279, 282, 284, 286, 290, 290, 361, 366.
Boutelle, M., 168, 169.
Brahmagupta (s. VII), 74, 88.
Bramón, D., 24, 249.
Brújula, 248, 415.
Bū °Alwān, Ḥ., 19-20, 60, 71, 79, 81, 82, 84, 92, 126, 128, 129, 130, 133, 134, 134, 136, 137, 148, 150, 181, 221, 241, 257, 267, 268, 272, 275, 399.
Búfalos, 110.
Bugía (Túnez), 393, 399, 414.
latitud: 423
Bugonia, 302.
Bulgaria, 311.
Buqrāṭ, 262.
Buqrāṭis, 262.
Bürgel, J.C., 377.
Burgos, 388.
Burnett, Ch., 85, 148.
caballería (*furūsiyya*), 433.
Cabanelas, D., 395, 396, 398.
Cabello, M.S., 430, 438.
Cádiz
conducción de aguas hasta la isla de, 58; ídolo (columnas de Hércules), 23.
Calbalazada (*Qalb al-Asad, α Leonis*, Régulo), 83, 85, 236, 237, 238.
Caldea, 266.
caldeo, lengua, 287.
Calendario de Córdoba, 27, 38, 71-75, 89, 117, 143, 278, 287, 302, 368, 383, 441.
alturas meridianas del Sol, 73; *anwā'*, 72; duración del crepúsculo, 74; duración del día y de la noche, 73; sombras meridianas, 73; tradición greco-alejandrina, 72; tradición islámica, 72-74; tradición latino-mozárabe, 72.
Calendario zodiacal en los astrolabios, 33, 34, 186, 188.
Calendario
calendario lunar, 27, 76; calendario solar juliano, 76; de las faenas agrícolas, 302; judío, 134
Calvo, E., 15, 18, 158, 187, 388, 418, 419, 420.
Campomanes, conde de, 382.
Caña de azúcar, 279, 294.
Cañafístola (*cassia fistula L.*), 280.
Cáñamo indio, 366.
Cáncer, 121.
Carabaza, J.M., 282, 283, 284.
Carandell, J., 15, 98, 414, 415, 422, 423.
Carbonero, M.A., 289, 295.
Carlomagno, 256.
Carmody, F.J., 263, 332, 334,

336, 338, 340, 341, 344, 345, 346, 347, 348, 351, 352, 355.
Carmona, 382.
Caro Baroja, J., 297, 299.
Cartago: tradición agronómica, 288
Casals, R., 250, 254, 255, 256.
casas astrológicas, división: 30, 153, 157-161.
Casiano Baso, 285, 288.
Castelló, F., 15, 35, 335
Castells, M., 15, 28, 85, 129, 267, 323, 369, 388, 391, 400, 412, 413.
Castrillo, R., 433
Casulleras, J., 15, 18, 68, 103.
Catalá, M.A., 15, 84, 93, 94, 132.
Cataluña: *qanāt*, 296.
Catástrofes naturales, defensa de los agricultores: 303.
Cátedra, P.M., 75.
Caussin de Perceval, A.P., 220.
Cauterización, 121.
Cenizas de los baños, utilizadas como abono, 301.
Cereales, 300.
Cesalpino (1519-1603), 367.
Ceuta, 438.
Chalmeta, P., 274.
Chaucer, Geoffrey (m. 1400)
  Cuentos de Canterbury, 147, 246; tratado sobre el astrolabio, 95.
Chaucer, Lewis, hijo de Geoffrey Chaucer, 95.
Cherbonneau, A., 305.
China, 279, 280.
Ciconia (cigüeñal), mecanismo elevador de agua, 298.
Ciencia andalusí de tradición latina, 19-43.
Ciencias Arabo-islámicas, 16.
Ciencias de las horas de la oración (*ʿilm awqāt al-ṣalawāt*), 71.
Ciencias de los Antiguos (*ʿulūm al-awāʾil*), 16, 20, 71.
Cinca, D., 15, 314.
Círculo indio, 161-164, 179.
Cirugía: cf. Abū-l-Qāsim al-Zahrāwī y Muḥammad al-Šafra.
Clement-Mullet, J., 305, 381.
Clepsidra
  con autómatas atribuida a ʿAbbās ibn Firnās, 55-56, 60; atribuida a Azarquiel, 249-250, 278; de Ibn Jalaf al-Murādī, 250-257.
Codera, F., 76, 272, 279.
Colin, G.S., 50, 296, 298, 363, 372, 394, 428, 430, 431, 442.
Columela, Junio Moderato, 41, 285, 288, 384.
Combustión (*iḫtirāq*, aspecto astrológico), 32.
Comes, M., 15, 69, 89, 105, 178, 181, 200, 202, 203, 205, 206, 210, 211, 235, 315, 316, 316, 417.
Conjunción (aspecto astrológico), 32, 80, 81, 84.
  conjunción planetaria (1345), 435.
Constantina, 382.
Constantino VII Porfirogéneta (913-959), 114, 288.

Contactos con el Oriente Islámico: disminución en el s. XII, 310.
Copelación, 261.
Copérnico
Commentariolus, 206; De Revolutionibus, 208, 214.
Coptos, 266.
Corbin, H., 265.
Córdoba, 20, 29, 48, 52, 125, 126, 127, 137, 149, 153, 227, 268, 272, 277, 298, 307, 324, 370, 399.
ascensiones oblícuas, 76; conducción de aguas a la mezquita aljama, 58; conquista por Fernando III (1236), 314; duración del crepúsculo, 73-74; duración del día y de la noche, 73; estatua de la puerta de Alcántara, 80; «Iglesia de los Quemados», 59; latitud, 68, 73, 74, 90, 95; laboratorios de Alquimia en el s. X, 259; mezquita aljama, 24, 26, 27, 45, 60, 61, 64, 65, 66; sombra meridiana, 68, 73.
Corriente, F., 57.
Cortabarria, A., 343.
Cosmética (*zīna*), 120, 373.
Cotangentes (sombras) para g=1, 73, 143.
Creación, horóscopo de la (3761 a. de C.), 35.
Crepúsculo, 74, 156, 241-242.
Cresswell, K.A.C., 61.
Crevillente, 434.
cristal de roca: talla, 54.
Critón: cf. Qrīṭūn.
Crombie, A.C., 356.
Crous, X., 189, 190.
Cruces
horóscopo de las, 29, 30, 31; Cruces, sistema de las (*ṭarīqat aḥkām al-ṣulūb*): cf. *Libro de las Cruzes.*
Cruz Hernández, M., 340, 376, 378.
Cuadrante
astronómico «vetustissimus», 172, 193; de senos, 172, 193; *šakkāzī*, 131-132; náutico, 248; solar, 68, 98, 414, 415; solar cilíndrico, 172; solar cónico, 172; solar horizontal, 172; solar vertical, 172.
Cuadratura (aspecto astrológico), 32.
Cultivos: introducción de cultivos orientales, 20-22, 278-280, 294.
Cursor del cuadrante astronómico, 172.
Cuvier (1769-1832), 367.
D'Agostino, A., 261.
D'Alverny, M.Th., 263.
al-Ḍabbī, ʿAbd al-Wāḥid b. Isḥāq (fl. c. 800), 23, 28, 28, 29, 29, 33, 42.
Damasco, 149, 326.
Mezquita de los Omeyas, 412.
al-Dānī, Abū Isḥāq Ibrāhīm (m. c. 1213-1224), 399.

Dawlab, 298.
De Solla Price, D.J., 444.
Debarnot, M.Th., 139, 142, 158, 166, 182.
Deferente de Mercurio en los ecuatorios, 201, 204, 205, 207, 315.
Demócrito, Bolos: cf. Bolos Demócrito.
Denia, 125, 126, 371.
Derroteros del Mediterráneo, 248.
Deztany, Ll., 370.
Diabetes, 380.
Díaz, A., 267, 362.
Dickie, J., 260.
Dicks, D.R., 342.
Dieta, 72, 378, 380.
Dietrich, A., 362, 364.
Dinámica neoplatónica, 344-348, 356-360, 385.
Dinana, T., 435.
Dínesis (movimientos de rotación) 341, 342.
Diófano de Bitinia, 288.
Diofanto: álgebra, 408.
Dioptra, 248.
Dioscórides: Materia Médica, 46, 93, 111-118, 129, 268, 272-273, 362, 364, 366, 384.
Dirham, unidad de peso, 276.
Djebbar, A., 83, 134, 137, 331, 403, 405.
Dobrzycki, J., 224.
Dodds, J.D., 417.
Dold-Samplonius, Y., 139.
Dozy, R.P.A, 71, 89, 287.
Drecker, J., 93.
Dū-l-Maŷdayn Abū-l-Ḥasan Yaḥyà b. Dī-l-Nūn, 198 y cf. al-Ma'mūn, Yaḥya
Dū-l-Nūn al-Miṣrī (796-859), 260.
Dubler, C.E., 111, 129, 281, 311, 363, 366.
Duhem, P., 225, 239.
Dūlab, 298.
Dunas ibn Tamīm, 55, 273.
Dunlop D.M., 394.
Duns Scoto, 360.
Ecija, 382.
Eclipses, 37, 153
Ecuante: situación de su centro en el ecuatorio de Ibn al-Samḥ, 107
Ecuatorio-astrolabio, 109.
Ecuatorio de Azarquiel 199--207, 211, 213, 227
  deferente de Mercurio, 201, 204, 205, 207; excentricidad de Venus, 207; máxima ecuación del Sol, 207; parámetros numéricos, 205-207; radios de los epiciclos y excentricidades, 206-207
Ecuatorio de Abū-l-Ṣalt de Denia, 314-317
Ecuatorio de Ibn al-Samḥ, 93, 103, 105-110, 199, 201, 207, 219
  situación del centro del ecuante, 107
Egipto, 28, 127, 127, 128, 135, 266, 280, 284, 298, 326, 335, 343, 364, 365.
  tradición agronómica, 288
Eguaras, J., 428.

Eilmer de Malmesbury (s. XI), 54.
Einhard (c. 770-840), 256.
El Cairo, 127, 138, 178, 310, 311, 365, 371, 390, 393, 399.
hospital, 436, 437; mezquita de ʿAmr, 412; pirámides, 311; *zāwiya* de Ibn Abī-l-Wafā', 405.
Elipse: en el ecuatorio de Azarquiel, 204, 205, 207.
Emanatismo plotiniano 266--267.
Embarazo: duración, 321.
Emigración de científicos y eruditos andalusíes, 308, 388, 389, 391, 392.
Empédocles, 290, 291.
Enciclopedia de los Hermanos de la Pureza: cf. *Rasā'il Ijwān al-Ṣafā'*.
Enfermedades de las plantas, 303.
Engranajes: sistemas utilizados por Ibn Jalaf al-Murādī, 256.
Epalza, M. de, 392.
Epidemiología: 434, 435, 436.
Era de Alejandro, 76.
Era Hispánica (*ta'rīj al-ṣufr*), 38, 89.
Escolástica, reflujo de la, 397.
Escuelas científicas autóctonas: aparición en el s.XI, 127.
Esfera armilar, 55, 172-173, 175-180, 318.
Esfera celeste, 172, 174.
Espéculo vaginal, 123.
Esperma femenino y masculino, 118.
Espiral (*lawlab*), movimientos en, 341, 342, 344.
Esteban, hijo de Basilio, traductor oriental de Dioscórides, 111-112.
Estupefacientes, 269.
Euclides, 82, 83, 137, 138, 139, 260.
Data, 135; Elementos, 111, 134, 135, 138; espejos, 253.
Eudoxo de Cnido, 137, 334, 337, 344.
Eulogio de Córdoba, 37.
Eusebio de Cesarea, 38.
Eutocio, 135.
Excentricidad solar: variaciones históricas justificadas por Azarquiel, 216, 217
Fahd, T., 23, 264, 296.
el-Faiz, M., 287, 288, 383.
Farā'iḍ (particiones sucesorias), 137, 392, 398, 404, 427.
al-Fārābī, 357.
Faraudo de Saint-Germain, L., 269, 273.
Faraŷ al-Jazraŷī (fl. fin s. XV), 400.
al-Fargānī (fl. 850), 86.
Farmacología: cf. también Botánica.
hasta la caída del Califato (821-1031), 110-116; período taifa, 245, 267--277; período almorávide y almohade, 361-369; etapa nazarí, 428-430, 438; ca-

talogación de la flora andalusí, 273, 364; determinación del grado de un compuesto, 120, 272, 274-277; expuesta en tablas sinópticas por Ibn Buklāriš, 271; introducción de materiales orientales, 273; pesos y medidas de capacidad, 274-275
Farré, E., 56, 254.
al-Fazārī (s. VIII), 69, 88.
Fecundación artificial de la palmera, 287.
Ferrand, G., 311.
Feto, generación del, 118, 439.
Fez, 392, 399.
clepsidras, 444; noria, 442, 443, 445.
Fierro, M.I., 49, 52, 69, 76.
Figura *pinnonada* (*ṣanawbarī*): en el ecuatorio de Azarquiel, 204.
Filāḥa Nabaṭiyya, 260, 264, 285, 287-288, 295-296, 302, 365, 368, 383.
Filāḥa Rūmiyya, 288, 365.
Filosofía, 16, 313.
Firneis, M.G, 417.
Física
Dinámica aristotélica y neoplatónica 312, 327, 337, 344-348, 356-360; Optica, 356-357.
al-Fištālī, Sulaymān (s. XVIII), 418.
Fitna, 125, 258.
Flandes, 248.
Fontaine, J., 32.
Forcada, M., 15, 64, 68, 70, 72, 172, 261, 287.
Fórneas Besteiro, J.M., 298, 368, 374, 376.
Franco de Polonia (fl. 1284), 319.
Franco, F., 430, 438.
Fuego griego (*naft*), 56.
Fusṭāṭ, 46, 343, 378.
Gabriel Alonso de Herrera, 281, 384.
al-Gāfiqī, Muḥammad b. Qassūm b. Aslam (s. XII), 274, 365-366, 370-371.
Galeno, 49, 72, 114, 268, 273, 273, 275, 291, 357, 364, 366, 367, 375, 376, 379.
introducción del corpus hipocrático-galénico, 117, 267; teoría humoral hipocrático-galénica, 120.
Galileo, 360.
Galmés de Fuentes, A., 281.
Gandz, S., 134, 331.
García Arenal, M., 146, 309, 391.
García Ballester, L., 390, 397.
García Doncel, M., 143.
García Gómez, E., 52, 110, 116, 126, 241, 259, 274, 281, 282, 285, 397, 427, 443, 443, 444.
García Granados, J.A., 400, 401.
García Sánchez, E., 115, 264, 278, 279, 280, 286, 381, 382.
Garīb b. Maᶜīn/ Maᶜīd, 278.
Garijo, I., 115, 273.
Garin, E., 247, 261.
al-Gassanī, 367.

Gauthier, L., 357.
Gāyat al-ḥakīm, 48, 219, 220, 261-266, 305.
autor y fecha de composición, 257-259; fuentes y tradiciones que confluyen en ella, 265-266.
Gayḍūn, 298.
Genética: leyes de la herencia, 118.
«Geografía sagrada», 61, 62, 63, 66.
Geología, 116.
Geometría 81, 83, 272.
en el período taifa, 132-139; del espacio, 135; plana, 135; secciones cónicas, 135.
Geoponika, 288.
Gerardo de Cremona, 121, 147, 149, 153, 241, 269, 276, 319, 320, 326, 408
Ghanem, I., 412.
Giambattista Benedetti, 360.
Ginecología, 117-118.
Gingerich, O., 152, 170.
Girolamo Borro, 360.
Girón, F., 47, 267, 362, 372, 374, 400, 401.
Glick, T.F., 293, 294, 297.
Gnomon, longitud del, 68, 73, 142, 143.
Gnomónica, 414, 415.
Gnosticismo, 264.
Goal-years: cf. años límite.
Goblot, H., 59.
Goldstein, B.R., 77, 86, 211, 222, 228, 242, 317, 332, 333, 334, 335, 336, 338, 341, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 351, 352, 354, 355, 435.
Golvin, L., 395, 396.
Gómez Moreno, M., 65.
González Palencia , A., 317.
Granada Nazarí
agrimensura, 427; agronomía, 427-428; alimentación, 437; arte militar, 432-433; astrología, 409-412, 435; astronomía, 409-427; disciplinas científicas cultivadas, 402; farmacología y botánica, 428-430, 438; hipiatría e hipología, 430-432; instrumentos astronómicos, 413-420; *madrasa*, 388, 389, 393-400, 404, 405, 433, 445; *māristān* (hospital), 394, 399-401, 445; matemáticas, 402-409; medicina, 433-442; *mīqāt*, 412-413; peste negra, 434-436; tablas astronómicas, 421-427; tecnología, 442-446
Granada *safarī*, 21, 22.
Granada, 125, 126, 127, 286, 307, 388, 391, 393, 397, 399, 401, 404, 414, 416, 422, 423, 435, 438, 445.
conquista de (1492), 387; latitud, 411, 417, 422, 423; mezquita aljama, 413;
Grant, E., 356, 357, 359.
Grau, M., 15, 127, 129.
Grave: velocidad de caída, 359.
Grecia, 28, 266.

Griego, conocimiento en al-Andalus, 93, 129, 363.
Griegos, magos, 266.
Guadalentín: azudes del río, 297.
Guadalquivir: norias movidas por tracción animal, 298.
Guardiola, M.D., 289, 293.
Guichard, P., 19.
Ḥabaš al-Ḥāsib (fl. 850), 97, 156, 166, 184, 415.
ṣafīḥa āfāqiyya, 184, 418, 420.
Ḥabbūs ibn Māksan, rey zīrí de Granada (1025-1038), 125.
Hachís, 366.
Ḥaḍār (*β Centauri*), 64.
Haddad, F.I., 86, 184.
Hadj-Sadok, M., 249.
Ḥafṣíes (Túnez), 391, 396.
Hairetdinova, N.G., 144.
al-Ḥakam II, al-Mustanṣir (961-976), 38, 46, 47, 58, 64, 71, 78, 113, 123, 259, 399.
destrucción de su biblioteca, 126, 127.
al-Ḥakīm, califa fāṭimī de Egipto, 178.
Halcones, 110.
Halley, cometa de, 50.
Hamarneh, S. Kh., 54, 111, 119, 120, 122, 275, 364.
Hamdīn b. Ubba, 40, 111.
Ḥāmid b. Samaŷūn (m.c. 1002), 114, 365.
Ḥanaš al-Ṣanᶜānī, 24, 61, 64.
acimut de la alquibla, 24, 26.
Ḥanaš, cf. Ḥabaš al-Ḥāsib.
Harpokration, 262.
Ḥarrān, 48.
religión planetaria de los sabeos, 264;
al-Ḥarrānī, ᶜUmar b. Yūnus, 129.
al-Ḥarrānī, 48, 111.
al-Ḥarrār (?), ᶜAlī b. Ibrāhīm (fl. 1327), 420.
Hartner, W., 204, 205, 206, 211, 258.
Hārūn al-Rašīd, califa ᶜabbāsī, 256, 394.
Ḥasdāy b. Šaprūṭ, médico judío de ᶜAbd al-Raḥmān III, 55, 113, 133.
al-Hāšimī, ᶜAlī b. Sulaymān (fl. 890), 86.
Hawkins, G.S., 63.
Hay'a (astronomía física o cosmología)
en el período califal, 76-77, 83-84; en el período taifa, 240-241; en el s. XII, 330-356, 385.
al-Ḥaŷarī, Šihāb/ Bejarano, Aḥmad b. Qāsim, 433
Hemofilia, 120.
Hemorroides, 380.
Heráclides del Ponto, 204.
Hermann de Carinthia, 85, 87.
Hermann el Dálmata (fl. 1143), 93.
Hermanos de la Pureza: cf. *Iŷwān al-Ṣafā'*.
Hermelink, H., 139, 153, 154.
Hermes, 161, 260, 264, 265, 265.
Hermético: cf. Hermes.
Hermetismo: cf. Hermes.

Hernández Bermejo, J.E., 381, 382.
Hernández, F., 65, 66.
Herrera: cf. Gabriel Alonso de Herrera.
Hesíodo, 73.
Hidráulica, técnicas desarrolladas en al-Andalus, 293-299.
Hidrocefalia, 121.
Higiene sexual 373, 380.
Hill, D.R., 250, 251, 253, 256, 257, 294.
al-Ḥimyarī, 297.
Hiparco de Rodas, 177, 211, 212, 213, 214, 216, 236, 237, 238.
Hipiatría e hipología, 430, 431, 432.
Hipócrates, 262, 273, 275, 291, 374, 379.
Aforismos, 40; Aires, Aguas y Lugares, 441; Dieta, 72, 441; introducción del corpus hipocrático-galénico, 117; teoría humoral hipocrático-galénica, 120.
Hišām, califa omeya de Damasco (724-743), 20-21.
Hišām I (788-796), 29.
Hišām II (976-1009, 1010--1013), 46.
al-Ḥiŷārī, 78.
Ḥiŷāz, 364.
Hoesen, H.B. Van, 30.
Hogendijk, J.P., 91, 135, 136, 312.
Holmyard, E.J., 258, 260.
Homocentrismo, 337, 340, 343.
Hora
determinación de la, 66-71, 76, 156; id. mediante las mansiones lunares, 70; horas de la oración, 24, 68, 71.
Horologia viatorum, 172
Horóscopo, 26, 78, 79, 51, 52, 90, 105, 409, 410, 411, 412.
cuadrado, 30-31; de las Cruces 30-31; demótico, 30-31; división de las casas, 30, 153, 157-161; natalicio de ᶜAbd al-Malik al-Muẓaffar, 78; natalicio de Ibn Ḥazm de Córdoba, 78-79; de aniversario del rey zīrī ᶜAbd Allāh de Granada, 126; natalicio de Muḥammad V de Granada, 410-412; reglas aproximadas para cálculo de longitudes, 33, 35.
Hourani, G.F., 40, 46.
Ḥubayš b. al-Ḥasan, 273, 365
Huéscar, 432.
Hugo de Santalla (fl. 1119--1151), 86, 87.
Hugonnard Roche, H., 327, 328, 330.
Humeniz, 168.
Humores: teoría humoral hipocrático-galénica, 120
Ḥunayn b. Isḥāq (m. 877), 111, 117, 273, 365.
Hungria, 311.
Hurdy, F., 263.
Ibn ᶜAbd al-Barr, 60.

Ibn ᶜAbd Rabbihi, Aḥmad, poeta (860-939), 79, 80, 117.
Ibn ᶜAbdūn, Muḥammad b. Aḥmad al-Ŷabalī, 46, 272, 363, 399.
Ibn Abī-l-Ŷayš, Muḥammad b. M. b. Muḥārib al-Sārīḥī (m. 1349), 42, 287, 395.
Ibn Abī Uṣaybiᶜa, 270, 271, 313, 365, 373.
Ibn Abī Ŷawād, 383.
Ibn al-Abbār, 227, 272, 279, 281.
Ibn al-ᶜAbbās, 377.
Ibn al-Adamī, 221, 225, 239.
Ibn al-ᶜAṭṭār, de la escuela de Maslama, 81.
Ibn al-ᶜAwwām (s.XII), 41, 131, 278, 280, 282, 284, 286, 287, 290, 301, 361, 383, 428.
Ibn al-Bagūniš (m. 1052), 267.
Ibn al-Bannā' al-Marrākušī (1256-1321), 209, 212, 213, 216, 219, 236, 309, 323, 406, 408, 425, 426, 427.
Ibn al-Bayṭār, Abū Muḥammad ᶜAbd Allāh b. Aḥmad (c. 1190-1248), 274, 361, 363-367, 381, 440.
Ibn al-Biṭrīq, 273.
Ibn al-Faraḍī, 76.
Ibn al-Farrā' (1238-1286), 434.
Ibn al-Hā'im, ᶜAbd al-Ḥaqq al-Gāfiqī al-Išbīlī (fl. 1205), 145, 208, 211, 213, 216, 218, 221, 237, 308, 312, 320-325, 384, 421, 424, 425, 426, 427.
Ibn al-Haytam (c. 965-1039), 127, 128, 139, 166, 241, 335, 337
Cosmología, 107, 204, 317; espejos ustorios paraboloides, 253; Optica, 135; secciones cónicas, 253.
Ibn al-Jaṭīb (1313-1374)
Cosmética, 440; Embriología, 439; Higiene, 439-442; *Iḥāṭa* y obra histórica, 388, 393, 396-397, 400-402, 409-413, 428-430, 433-435, 442-445; medicina, 434-436, 439, 440-442; Oftalmología, 440.
Ibn al-Jayyāṭ, de la escuela de Maslama, 81.
[Ibn] al-Kammād, Abū Ŷaᶜfar Aḥmad b. Yūsuf (fl. princ. s. XII), 153-154, 208, 212, 213, 216, 219, 236, 312, 320, 322-324, 153, 154, 390, 421, 425, 427.
astrología médica, 321.
Ibn al-Kattānī (m. antes de 1029), 129, 133.
Ibn al-Layṯ (m. 1058), de la escuela de Maslama, 81, 83.
Ibn al-Luengo (m. 1104-1105), 279, 286, 290, 363.
Ibn al-Maššāṭ, 127.
Ibn al-Muṭannā', 155.
Ibn al-Naṭṭāḥ (¿princ. s. XII?), 61, 64-65, 313-314.
Ibn al-Qāḍī (s. XVI), 392.
Ibn al-Qūṭiyya (m.977), 29, 49, 50, 56, 57.
Ibn al-Raqqām, Ibrāhīm b. Muḥammad (fl. 1320), 417.

Ibn al-Raqqām, Muḥammad al-Andalusī (m. 1315), 156, 236, 323, 384, 393, 409, 414, 417, 445.
medicina, 433; *Risāla fī ʿilm al-ẓilāl*, 414-415, 422; tablas astronómicas, 421-427.
Ibn al-Rūmiyya, Abū-l-ʿAbbās al-Nabatī, 361-363, 365, 366.
Ibn al-Ṣaffār, Aḥmad (m. 1035), de la escuela de Maslama, 62, 64, 81, 92, 125, 133, 251, 314.
adaptación de las tablas de al-Jwārizmī, 85, 87; cuadrante solar, 98, 102, 251; uso del astrolabio, 96.
Ibn al-Ṣaffār, Muḥammad (s. XI), hermano de Aḥmad y constructor de instrumentos astronómicos, 417.
Ibn al-Samḥ (m. 1035), Abū-l-Qāsim Aṣbag b. Muḥammad, 81, 82, 84, 125,133, 161, 258, 259, 314, 315, 415.
adaptación de las tablas de al-Jwārizmī, 85, 87; Aritmética, 83; conocimiento por Alfonso X, 97, 98; construcción del astrolabio, 96; ecuatorio, 93, 103, 105-110, 199, 201, 207, 219; Geometría, 83, 138; resumen del Almagesto, 93; uso del astrolabio, 96-98, 103.
Ibn al-Šamir, poeta y astrólogo de ʿAbd al-Raḥmān II, 50-51.
astrolabio, 94.
Ibn al-Sarrāŷ, Muḥammad b. Ibrāhīm (m. 1330), astrónomo sirio, 131, 187, 429, 434.
Ibn al-Šāṭir, 130, 207, 412.
Ibn al-Šayj (s. XII), 311.
Ibn al-Ŷallāb (fl. c. 1069), de la escuela de Maslama, 81, 84.
Ibn al-Ŷazzār, 365.
Ibn al-Zarqālluh, 148 y cf. Azarquiel.
Ibn al-Zayyāt al-Tadilī (m. 1230), 335.
Ibn ʿAqnīn (c. 1160-1226), 134.
Ibn Arfaʿ Raʾsa-hu, Abū-l-Ḥasan ʿAlī b. Mūsà (m. 1197), 361.
Ibn Arqam al-Numayrī, Muḥammad b. Riḍwān (m. 1259), 416, 431.
Ibn ʿĀṣim (m. 1012-1013), 62-64, 70, 72.
Ibn ʿAzrā' (ʿEzra?), astrólogo cordobés del s. X, 80.
Ibn Badr, Abū ʿAbd Allāh Muḥammad b. ʿUmar, 403-404.
Ibn Bargūṯ (m. 1052), de la escuela de Maslama, 81, 83-84, 133, 236, 238, 227.
Ibn Bāṣo, Aḥmad b. Ḥasan/ Ḥusayn (m. 1310), 413, 445.
cuadrantes solares, 413.
Ibn Bāṣo, Ḥasan/ Ḥusayn b. Muḥammad/ Aḥmad (m. 1316), 184, 409, 412, 417, 445.

cuadrantes solares e instrumentos astronómicos, 413; lámina general, 412, 418-420.
Ibn Baṣṣāl, Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Ibrāhīm (s. XI), 131, 278, 279, 280, 280, 288, 303, 305, 363, 383, 428.
Ibn Bassām, *Ḏajīra*, 198, 260.
Ibn Bāŷŷa, Abū Bakr b. al-Ṣā'ig al-Tuŷībī (¿1070?-1138), 133, 137, 250, 312, 330-331, 333, 335, 337, 339, 355, 362, 367, 385.
astronomía, 331; Dinámica, 356-360; imán, 359; movimiento de un proyectil, 358-359; movimiento en un plano inclinado, 358; velocidad de caída de un grave, 359.
Ibn Bišrūn, Muḥammad (m. post 1058), 258, 259.
Ibn Buklāriš, Yūnus b. Isḥāq (m. princ. s. XII), 260, 267, 270, 275, 368.
Farmacología en tablas sinópticas, 271; Interés teórico, 271-272, 275-277; obra farmacológica, 270--272; sinonimia para la identificación de simples, 274; determinación del grado de un compuesto, 272; fuentes, 273; teoría galénica de la enfermedad, 272.
Ibn Buṭlān, 271.
Ibn Ezra, Abraham (c. 1090-c. 1164-67), 208.
Ibn Gālib, geógrafo e historiador granadino (fl. 1170), 146, 309, 310.
Ibn Gazla, 365.
Ibn Ḥayy al-Tuŷībī (m. 1064), de la escuela de Maslama, 81, 128.
Ibn Ḥayyān
Matīn, 78: *Muqtabis/Muqtabas*, 21, 50, 51, 53, 55, 58, 110.
Ibn Ḥaŷŷāŷ, al-Jaṭīb Abū ᶜUmar Aḥmad b. Muḥammad al-Išbīlī (fl. 1073), 41, 282, 285, 288, 289, 383.
Ibn Ḥazm de Córdoba (m. 1063), 46, 78.
Collar de la Paloma, 116; *Risāla fī faḍl al-Andalus*, 132.
Ibn Hibintā (fl. 850), 90, 91.
Ibn Hūd: conquista de Murcia en 1228, 387.
Ibn Huḏayl, Abū Zakariyyā' Yaḥyà b. Aḥmad (m. 1352), 394, 398, 433
Ibn Huḏayl al-Fazarī, Abū-l--Ḥasan ᶜAlī b. ᶜAbd al-Raḥmān (s.XIV), 431-434
Ibn ᶜIḏārī, *Bayān*, 50, 52, 58.
Ibn Isḥāq al-Tūnisī (princ. s. XIII): tablas, 101, 153, 161, 181, 209, 210, 212, 213, 216, 219, 232, 236, 309, 321, 323, 384, 424, 425, 426, 427.
Ibn Jalaf al-Murādī, Aḥmad o Muḥammad (s. XI)
Kitāb al-asrār, 62, 249--257, 305, 384, 444; aplicaciones astrológicas de sus

relojes, 254; cuadrante solar, 101-103, 254; juguetes mecánicos, 254; máquinas de guerra, 254, 257; precedente del mecanismo biela-manivela, 256; relojes con autómatas, 254; ruedas hidráulicas con cangilones, 255; ruedas hidráulicas con paletas, 255, 256; sistemas de engranajes, 256; uso de balanzas para regular el movimiento de los autómatas, 255; uso del mercurio, 255.

Ibn Jaldūn, de la escuela de Maslama, 81.

Ibn Jaldūn: *Muqaddima*, 93, 258, 262, 263, 392.

Ibn Jātima de Almería (m. c. 1369), 435, 436.

Ibn Luyūn de Almería (1282--1349), 283, 284, 427, 428.

Ibn Masarra, 42.

Ibn Māsawayh, 273.

Ibn Masrūr (fl. 875), 86.

Ibn Muᶜād al-Ŷayyānī, Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Ibrāhīm b. Muḥammad, al-Ša'bānī (m. 1093), 82, 128, 133, 137-144, 145, 153, 250 321, 324, 326, 384, 415

altura de la atmósfera, 240-244; comentario al concepto de razón matemática, 137-139; *Liber de crepusculis*, 143, 156, 240-244; acimut de la alquibla por el «método de los zīŷes» 161, 164-166; determinación de la meridiana con el «círculo indio», 161-164; división de las casas, método ecuatorial (límites fijos), 158-159, 161; interpolación cuadrática, 143; observaciones astronómicas (?), 153; proyección de rayos, 252-253; Regla de las cuatro cantidades, 141; tabla de tangentes para r=1, 142-143; *Tabulae Jahen*, 152-166, 179, 219; teorema de Geber, 141; teorema de las tangentes, 141; teorema del coseno, 141; teorema del seno, 141; triángulo polar, 142; Trigonometría esférica, 139-144, 253.

Ibn Muᶜād al-Ŷuhanī, Abū ᶜAbd Allāh Muḥammad b. Yūsuf (n. 989), 138

Ibn Munᶜim, matemático magribí, 137.

Ibn Qunfūḏ (m. 1407), 407.

Ibn Qutayba, 285.

Ibn Riḍwān, 365.

Ibn Rušd, Abū-l-Walīd (1126--1198), 308, 310

anatomía, 377; comentarios a Galeno 375-377; Farmacología: determinación del grado galénico de un compuesto, 120, 362, 368-369; importancia de la

observación, 378; obra médica 374, 375-378; ideas astronómicas y físicas, 330-333, 335, 338-342, 344, 347-348, 355-356, 357, 359-360.
Ibn Rustah (princ. s. X), 77.
Ibn Saᶜīd al-Magribī (1213--1286)
Mugrib, 20, 21, 77, 126.
Ibn Šahr, de la escuela de Maslama, 81.
Ibn Sālim (m. 1317), 434.
Ibn Šarīfa, Muḥammad, 421.
Ibn Sayyid, Abū Zayd ᶜAbd al-Raḥmān (fl. 1087-1096), 133, 136-138, 241, 331.
Ibn Simᶜūn, Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. ᶜAbd al-Malik (m. 1284), 412.
Ibn Sīnā, 119, 260, 269, 273, 274, 310, 338, 365, 376, 377, 389, 398, 434, 437, 440.
Ibn Sirāŷ, Abū-l-Qāsim (s. XV), 413.
Ibn Šuhayd, Abū ᶜĀmir (m. 1035), 259.
Ibn Surāqa (m. 1019), 62.
Ibn Ṭufayl (c. 1110-1185), 308, 330-331, 337-338, 342, 344, 355.
Ibn Tumlūs de Alcira (m. 1223), 20.
Ibn ᶜUzarā' cf. Ibn ᶜAzrā'.
Ibn Wāfid, Abū-l-Muṭarrif ᶜAbd al-Raḥmān b. Muḥammad (m. 1075), 260, 267, 272, 279, 286, 290, 365, 367.
Astronomía, 181; Balneoterapia, 268; Farmacología, 268-270, 273, 275, 277; Oftalmología, 268; presunta obra agronómica: cf. seudo-Ibn Wāfid.
Ibn Waḥšiyya, *Filāḥa Nabaṭiyya*, 260, 264, 285, 287-288, 295-296, 302, 365, 368, 383.
Ibn Ŷanāḥ (c. 990-c. 1040), 267, 274-275.
Ibn Ŷazla, 271.
Ibn Ŷulŷul (n. 943), 38, 40, 42, 46, 48-49, 111, 113-114, 116, 272, 362, 363, 365, 399.
obra farmacológica, 115-116; programa de investigación botánico-farmacológica, 273.
Ibn Yūnus (m. 1009), 128, 166, 178, 207, 220, 242.
Ibn Ŷuzayy, Abū Muḥammad ᶜAbd Allāh (fl. 1369-1390), 431.
Ibn Zaydūn (1003-1070), 287.
Ibrāhīm b. Fatūḥ, Abū Isḥāq (m. 1463), 398.
Ibrāhīm b. Saᶜīd al-Sahlī, constructor de instrumentos (s. XI), 100
Ibrāhīm b. Sinān b. Ṯābit b. Qurra (908-946), 135, 136, 221, 239.
Ibrāhīm b. Yūsuf b. Tašufīn, gobernador almorávide de Sevilla, 372-374
Id, Y., 184
al-Idrīsī (1101-1165), 248, 362.
Ifrīqiya, 28, 29.
«Iglesia de los Quemados», 59.

Ijwān al-Ṣafā', 127, 259.
ᶜIlm al-farā'iḍ, ciencia de las particiones sucesorias, 137, 392, 398, 404, 427.
ᶜIlm al-handasa (ingeniería), 250.
ᶜIlm al-ḥidṯān («ciencia de los acontecimientos [futuros?]»), 23.
ᶜIlm al-ḥiyal («ciencia de los ingenios»), 249.
ᶜIlm awqāt al-ṣalawāt, cf. ciencias de las horas de la oración.
Imán, 359.
Impetus, teoría del, 345-348, 358, 360.
ᶜInān, Muḥammad ᶜAbd Allāh, 400, 409, 410, 413, 429, 430, 433, 434, 435, 442.
India, 266, 279, 280.
Indios, 266.
Indo, 336.
Indochina, 280.
Inercia, principio de, 359.
Ingeniería: Cf. *ᶜilm al-handasa*.
Ingeniería mecánica, 55-56, 245, 249-257, 361.
Injertos, 290
Instrumental agrícola, 289, 292.
Instrumental quirúrgico, 122-123.
Instrumentos astronómicos, 51, 55, 68, 93-110, 131, 145, 148, 150, 158, 161, 166, 171-207, 313-320, 398, 413-420.
astrolabio, 33-34, 51, 93-98, 105, 131, 172, 175, 177, 183, 248, 314, 412, 417, 418-420; instrumentos astronómicos «rayosos» (*šuᶜāᶜiyya*), 172; instrumentos astronómicos «sombríos» (*ẓilliyya*), 172; ecuatorios, 93, 103, 105-110, 166, 199-207, 211, 213, 219, 227, 314-317; instrumentos de observación astronómica, 173; armilla equinoccial, 318; armilla meridiana, 318; astrolabon, 318; esfera armilar, 55, 172-173, 175-180, 318; instrumento de Ŷābir b. Aflaḥ 317-320; triquetrum, 318, 320; Instrumentos universales, 131, 145, 150, 171, 175, 180-199.
Interpolación cuadrática, 143.
intérpretes de sueños (*ahl al-ᶜibāra*), 49.
Introducción de técnicas agrícolas en el N. de Africa, 309
Irán, 266.
Iraq, 128, 251, 364, 365.
Irlanda: costas, 249
ᶜĪsà b. Mūsà, 118.
Isaac Israelí (s. XIV): *Yesod ha-ᶜOlam*, 148, 149, 171.
Isḥāq b. al-Ḥasan b. Abī-l-Ḥusayn al-Zayyāt (ss. X-XI), 154
Isḥāq b. ᶜImrān, 118, 365

Isḥāq b. Sīd, astrónomo de Alfonso X, 175, 177, 182, 186, 252, 253
Isḥāq b. Sulaymān al-Isrā'īlī, 114, 119, 285, 365
Isidoro de Sevilla, 27, 32, 37, 37, 38, 40, 167.
Iskandar, A.Z., 340, 342, 377.
Islas Atlánticas (¿Canarias?), 248.
Ismā'īl II, sultán de Granada (1359–1360), 410.
Ismailismo, 265.
Istīfā' («compleción») 349, 351.
al-Istiŷŷī, Abū Marwān 'Ubayd (o 'Abd) Allāh b. Jalaf(s. XI), 129, 150.
Jacob ben Maḥir ben Tibbón, 320.
Jaén, 138, 144, 154.
Jahier, H., 117.
Jālid ibn Yazīd (m. c. 704), 260.
Jālid b. Yazīd b. Rumān, 40, 111.
al-Jamā'irī, Muḥammad b. Fatūh (fl. 1218), 417.
Jamā'iriyyāt, 417.
Janjanian, M., 91.
Jardín del Sultán (Sevilla), 363.
Jardines botánicos, 20–22, 43, 144, 277, 279, 289, 363.
Jardines zoológicos, 110.
Jašjāš: cf. adormidera.
Játiva, 137, 391.
al-Jaṭṭābī, M. 'A., 47, 119, 279, 282, 363, 372, 375, 435, 437, 438, 441.
Jaṭṭāra (= *qanāt*), 59, 298.
al-Jāzin, Abū Ŷa'far (m. 961–971), 109.
Jean de Lignères, 132.
Jerónimo, San, 38.
Jirafas, 110.
Johan Daspa, colaborador de Alfonso X, 28.
Johannes Hispalensis, 82. 148, 149, 153.
Jones, W., 205.
Jordania, 21.
Juan Damasceno, 273.
Juan de Dumpno, 320, 321.
Juan Filópono (s. VI), 345, 357, 358, 359.
Juguetes mecánicos, 254.
Jūrī, M., 372, 374.
al-Juŷandī (s. X), *šāmila* o *musāṭara*, 254.
Jwārizm, 167.
al-Jwārizmī (fl. c. 830), 73, 79.
Algebra, 82, 403; determinación de la alquibla, 65; *Sindhind*, 47, 50, 52–53, 69, 73, 79, 92, 146–147, 153–155, 221. Cf. también al-Jwārizmī-Maslama.
al-Jwārizmī-Maslama: tablas, 84–93, 109, 150–151, 157, 166, 168, 219
adaptación a Córdoba, 90; cambio de fecha radix y calendario, 88; críticas de Ṣā'id, 92; diferencia en longitud Arín–Córdoba, 89–90; influencia ptolemaica, 88; interpolaciones tardías, 91; materiales

hispánicos, 89; materiales indo-iranios, 88; proyección de rayos, 90-91; tabla de senos, 142-143. Cf. también al-Jwārizmī, *Sindhind*.
Kaᶜba, 63, 66.
Kahle, P., 114.
Kamāl (perfección), 348.
Kanaka, 153.
Kanka: cf. Kanaka.
Kanz al-yawāqīt (manual de *mīqāt* egipcio del s. XIV), 197, 313, 321, 412.
al-Karaŷī (fl. 1017), 289, 403.
al-Karnī (fl. 1291), 434.
al-Kāšī (m. 1429): ecuatorio, 205, 207.
Kašmīr, 167.
Kasten, L.A., 28.
al-Kātib al-Andalusī (m. 1029), 68, 72.
Kellner, M., 331.
Kennedy, E.S., 17, 33, 69, 74, 75, 86, 88, 90, 91, 131, 154, 166, 170, 179, 182, 184, 205, 218, 315, 329, 343, 344, 412, 421, 422, 424.
Kennedy, M.H., 17, 18, 75, 90, 91, 154, 422.
Kent, A., 56.
Kepler, 204, 244.
Khan, M.S., 146.
Kiddle, L.B., 28.
al-Kindī, 273, 365, 368
De gradibus (*Fī maᶜrifat quwà al-adwiya al-murakkaba*), 120, 276; *De radiis*, 263.
King, D.A., 18, 24, 61, 62, 63, 65, 68, 70, 71, 72, 91, 98, 103, 109, 131, 132, 153, 164, 166, 179, 181, 184, 187, 188, 193, 197, 254, 313, 421.
Kirchner, H., 295.
al-Kirmānī (m. 1066), de la escuela de Maslama, 81, 127, 259.
Kitāb al-dawālīb, 253.
Kitāb al-madd wa-l-ŷazr, 335-336, 343.
Kitāb al-ulūf («Libro de los Miles» de Abū Maᶜšar), 48, 260.
Krikorian-Preisler, H., 91.
Kuhne, R., 117, 267, 362, 371, 372, 373.
Kunitzsch, P., 85, 95, 96.
Kunnāš, 374.
Kurdos, 266.
Kūšyār b. Labbān (c. 971--1029), 166.
Kylisis (movimientos giratorios en órbita), 341.
Kyranis, 262.
La Meca, 45, 164, 284, 286, 393.
Labarta, A., 15, 98, 101, 260, 267, 270, 271, 274, 276, 277, 362.
Laboratorio
técnicas, 120, 260, 261; laboratorios de Alquimia en Córdoba en el s. X, 259.
Laboreo de la tierra, 291-292, 299-300.
Lambert, E., 61.

Lámina de horizontes: cf. *ṣafīḥa āfāqiyya.*
Lámina universal, 131, 145, 181-187, 196-199, 418, 420.
Langermann, Y.T., 317.
Latham, J.D., 392.
latitud: determinación, 76, 248
Lavoisier, 261.
Lawlab, mecanismo elevador de agua, 298.
Leclerc, L., 366.
Legumbres, 300.
Leguminosas, 300.
Lentejas, 300.
León Africano, 119, 443.
Levey, M., 271.
Levi ben Gerson, 107.
Levi della Vida, G., 37, 38.
Lévi-Provençal, E., 50, 56, 56, 58, 126, 241.
Lewis, G.L., 121.
Liber de motu octaue spere, 151, 171, 221, 205, 222-226, 232, 236, 238-239, 322, 425.
Liber mahameleth, 82.
Libro de las Cruzes, 27-36, 37, 80, 129, 130, 150.
«Libro de los Miles»: cf. *Kitāb al-ulūf*
Lindberg, D.C., 357.
Linneo (1707-1778), 114.
Lisboa, 248.
Livelladors (niveladores), 293.
Livingston, J.W., 172.
Llamas, J., 269.
Llavero, E., 438.
Llopart, J., 296.
Llull: cf. Ramón Llull.
Lluró, J.M., 295.
López, A.C., 42, 117, 278, 280, 286.
López de Coca, J.E., 391.
Lorca: azudes de la región de, 297.
Lorch, R.P., 317, 318, 319, 320, 326, 327.
Lozano, I., 366.
Lucrecio, 341.
Luna, 24, 26, 27, 33, 35, 70, 76, 91
  año lunar, 134; cálculo de la paralaje con la azafea, 195-196; círculo de la, en la azafea, 193, 195-196; forma ovalada del deferente, 205; latitud, 154, 325; mansiones, 33, 35, 70, 76; máxima ecuación del centro, 157; mes sinódico medio, 134; modelo de Azarquiel, 218-219; signo zodiacal, 35; visibilidad de la Luna nueva, 24, 26, 70, 91, 155, 331.
al-Ma'mūn, califa ᶜabbāsī, 92, 97, 144, 177, 210, 225.
al-Ma'mūn, Yaḥyà, rey de Toledo (1037-1074), 144, 197, 278, 284, 299.
Mac Guckin de Slane, Barón, 52.
Maddison, F.R., 56, 195.
Madrasa *niẓamiyya* de Bagdad, 135, 394
Madrasas, en al-Andalus, 45, 388-389, 393, 394-399, 400, 404-405, 433, 445.
Madrid, 57.

qanāt de la Plaza de los Carros, 296.
Maelcote, Odon van (1572–1614), 420.
Magia talismánica, 246, 247, 257-259, 261-266, 361.
relación con la Tecnología, 246-247; ritual, 264.
Magistri Ymaginum, 323.
Mago (*al-sāḥir*), 262, 266.
Magón, 288.
Maḥmūd de Gazna, 51.
Maimónides, 135, 310.
conocimientos matemáticos, 312; Farmacología, 361-362; obra astronómica, 17, 134, 317, 326, 330, 331, 337, 339, 343; obra médica, 17, 369, 378-381.
Makdisi, G., 394.
Makkī, M.ᶜA., 25, 45, 50, 51, 53, 55, 57, 58, 110.
Málaga, 435.
al-Malik al-Afḍal, monarca del Yemen en el s. XIV, 131, 283.
al-Malik al-Afḍal, sultán ayyubí de Egipto, 380.
al-Malik al-Kāmil, sultán ayyubí de Egipto, 365.
Mallorca, 307.
qanāts, 295.
Mancha, J.L., 105, 107, 317.
Mandrágora, 269, 280.
al-Manṣūr b. Abī ᶜĀmir (981-1002), 30, 47, 71, 78, 114.
Manzano, E., 295.
Mapas en T, 38, 39.
al-Maqqarī, *Nafḥ*, 22, 29, 54, 59, 64, 77, 79, 249, 331, 404, 405.
Máquinas de guerra, 254, 257.
Marāga: «escuela», 329.
Marcial, 42, 285, 288.
Marciano Capella, 341.
Marcos, A., 65.
Mareas 335-336, 346
María la Copta, 260.
Mārib, dique de, 297.
Marín, M., 18, 20, 51, 60, 76, 80.
Māriníes (Marruecos), 391, 396.
Māristān (hospital) de Granada, 394, 399-401.
Mark Smith, A., 241.
Marquet, Y., 259.
Marrākuš, 308, 309, 363, 373, 394.
construcción de la red de *qanāts*, 296.
Marruecos, 364.
Martí, R., 15, 92, 95, 96, 289, 293, 295, 296.
Martínez, L., 15, 285, 335, 336.
Martínez Gázquez, J., 15, 33, 71, 302.
Marugán, C.M., 296.
Marwān b. Gazwān, astrólogo de ᶜAbd al-Raḥmān II, 51.
Māsarŷawayh, 273, 365.
Maslama b. Aḥmad al-Maŷrīṭī, Abū-l-Qāsim (m. 1007), 47, 76, 79, 123, 129, 130, 131, 133, 146, 161, 227, 236, 238, 258, 259, 262, 272

adaptación de las tablas de al-Jwārizmī, 85-93; comentarios al *Planisferio* de Ptolomeo, 85, 93-96; conocimiento de la obra de al-Battānī, 93, 95, 97; escuela, 80-110, 313, 334; uso del teorema de Menelao, 94.
Maslama de Madrid: cf. Maslama b. Aḥmad al-Maŷrīṭī, Abū-l-Qāsim (m. 1007).
Matemática
bajo el Califato, 81-83; en el período taifa, 132-144; en la Granada Nazarí, 402-409.
Materia Médica de Dioscórides, 46, 93, 111-118, 129, 268, 272-273, 362, 364, 366, 384.
Matrice, 57.
Maŷrà (*qanāt*), 57.
Maŷrīṭ (Madrid), 57.
Māŷūs, 56.
McVaugh, M.R., 276, 368, 369.
Meca, La: cf. La Meca.
Mecánica, 55-56, 245, 249-257, 361.
Mecanismos elevadores de agua, 297-299
Medicina
de tradición latina 40-41; s. X, 116-123; período taifa, 245, 267 y ss.; período almorávide y almohade, 369-384; en la Granada Nazarí, 399-401, 402, 433-442; absceso del pericardio, 375; alimentación artificial por esófago / recto, 375; Anatomía, 117, 119; asma, 380; astrológica, 118, 321; Balneoterapia, 268, 436; cáncer, 121; carácter voluntario o involuntario de la respiración, 376; Cirugía, 121-123, 438-439; creencial, 269; diabetes, 380; dieta, 72, 378, 380; Epidemiología, 434-436; estética, 122, 373; estupefacientes, 378; Genética, 118; hemofilia, 120; hemorroides, 380; hidrocefalia, 121; higiene sexual, 373, 380; materiales hipocrático-galénicos, 47 y cf. Galeno, Hipócrates; medicina del Profeta, 47; Obstetricia y Ginecología, 117-118, 122; Oftalmología, 268, 369-371; Pediatría, 117-118; prácticas mágicas, 47; rabia, 381; sarna, 375; Sexología, 117-118, 440; toxicología, 380; traqueotomía, 375.
Medina Azara
estanque de mercurio, 55, 251; mezquita, 64; «patio de los relojes», 98.
Medina Sidonia, 382.
Medina, 393.
Mediterráneo: navegación, 248.
Menahem ibn al-Fawwāl, 133, 134.
Mendelsohn, E., 335.
Mendoza, A., 417.

Menelao
Esféricas, 135; teorema de, 94, 140.
Menéndez Pidal, G., 38.
Menéndez Pidal, R., 56, 66.
Mercier, L., 432.
Mercier, R., 85, 86, 148, 151, 224.
Mercurio, metal, 55, 251, 255, 261.
Mercurio, planeta.
deferente en los ecuatorios, 201, 204-207, 315; modelo ptolemaico, 214; Orbita en el ms. Reichenau 167, 205; tránsitos por delante del Sol, 327-328, 332-333.
Mérida: acueducto, 58.
Meridiana: determinación con el «círculo indio», 161-164, 179.
Meridiano origen.
Arín, 422; Islas Afortunadas, 90; «meridiano de agua», 90.
Meridiano terrestre: longitud, 242.
Mes sinódico medio, 134.
Mesopotamia, 266.
Mestres, A., 18
Metales.
transmutación de, 261; tratamiento de, 260, 261.
Meyerhof, M., 49, 111, 116, 267, 274, 362, 362, 364, 366, 370, 379.
Michel, H., 184, 416, 418.
Mielgo, H., 15, 18, 164, 170, 202, 203, 316, 316, 419.
Miguel Scoto, 343, 346.
Miḥrāb, orientación, 24, 60-66.
Mīkāna, clepsidra con autómatas, 250.
Millás, E., 15, 86, 89, 205, 208.
Millàs i Vallicrosa, J.M.: cf. Millás Vallicrosa, J.M.
Millás Vallicrosa, J.M., 15, 28, 37, 83, 86, 96, 129, 132, 134, 148, 150, 151, 153, 154, 168, 171, 172, 175, 177, 185, 187, 197, 200, 209, 210, 213, 220, 222, 227, 230, 236, 249, 269, 278, 281, 282, 283, 284, 285, 290, 292, 294, 300, 301, 303, 304, 305, 314, 317, 321, 323, 324, 370
Mineralogía, 116.
Mīqāt, 24, 26-27, 71-75, 312, 321, 412-413
acimut de la alquibla, 24, 60-66, 161, 164-166, 413; alba y crepúsculo, 74, 156, 241-242; determinación de la hora, 24, 56, 66-71, 76, 156, 359; visibilidad de la luna nueva, 24, 26, 70, 91, 155, 331.
Mirobálano índico, 279.
Moesgaard, K.P., 225.
Molina, E., 391, 435.
Molina, L., 20, 38, 50, 58.
Molinos hidráulicos, 296.
Moneda falsa, fabricación en Córdoba en el s. X, 260.

Montoro, M.C., 294.
Moody, E.A., 357.
Morelon, R., 225.
Mošé ben Tibbón (fl. 1274), 320.
Movimiento
de los proyectiles, 358-359; en un plano inclinado, 358.
Moya, A.P., 247.
Mozárabe, ciencia, 22-43
al-Muᶜāmalāt, aritmética comercial, 82.
al-Mu'ayyad bi-Naṣr Allāh, 198 y cf. al-Muᶜtamid.
Mu'min b. Saᶜīd, poeta satírico (m. 880), 54.
al-Mu'taman (o al-Mu'tamin), Yūsuf, rey matemático de Zaragoza (1081-85), 82, 133-136, 138, 270, 331, 384.
Optica, 134; originalidad, 136.
al-Muᶜtamid ᶜalà Allāh, 200 y cf. al-Muᶜtamid, rey de Sevilla
al-Muᶜtamid b. ᶜAbbād, rey de Sevilla (1069-1091), 197, 278, 200, 287, 298, 307, 308, 371.
al-Muᶜtaṣim bi-llāh, rey de la taifa de Almería, 298.
Muᶜtazilismo, 49.
Mugarrirūn, navegantes lisboetas por el Atlántico, 248.
Mugīṯ, conquistador de Córdoba en el s. VIII, 59.
Muḥammad al-Fihrī, ministro de Ismāᶜīl II de Granada, 410.
Muḥammad al-Qallūsī (m. 1308), 412.
Muḥammad al-Šafra al-Qirbilyānī (m. 1360), 389, 397, 429-430, 434, 438-439, 445.
farmacología, 438; traumatología, 438-439.
Muḥammad al-Šaŷŷār, médico y botanista, 113.
Muḥammad al-Waṭṭāsī, monarca de Marruecos (1471--1504), 400.
Muḥammad al-Waŷīh, *muwaqqit* en El Cairo (m. 1301), 412.
Muḥammad al-Ŷadd, muwaqqit en El Cairo (s. XIV), 412.
Muḥammad b. Aḥmad b. Sulaymān al-Tuŷībī, 62.
Muḥammad b. Aḥmad ibn al-Layṯ (m. 1015), 137.
Muḥammad b. al-Ḥasan al-Ŷuyūbī, 139.
Muḥammad b. al-Ḥāŷŷ (m. 1314), 389, 397, 442, 445.
Muḥammad b. al-Naŷŷār, maestro de Qalaṣādī, 404.
Muḥammad b. Saᶜīd, médico y botanista, 113.
Muḥammad b. Yūsuf b. Naṣr, 387.
Muḥammad, emir (852-886), 20, 40, 46, 50, 55, 56, 57, 58, 60, 110.
Muḥammad I de Granada (1231-1273), 397, 431.
Muḥammad (ibn ᶜAbd al-Raḥmān III), 46.

Muḥammad ibn ᶜAbdūn al-Ŷaballī, 82.
Muḥammad ibn al-Qāsim al-Qurašī (1303-1356), 399.
Muḥammad ibn Sartāq al-Marāgī (s. XIV), 135.
Muḥammad ibn Zāwal (fl. 1481), 417.
Muḥammad II de Granada (1273-1302), 388, 393, 396, 414, 423, 433.
Muḥammad III al-Mustakfī (1024-1025), 98.
Muḥammad III, sultán de Granada (1301-1308), 444.
Muḥammad V, sultán de Granada (1354-59 y 1362-91), 400, 409, 431, 441, 443, 444.
horóscopo natalicio, 410-412.
Muḥammad VI el Bermejo, sultán de Granada (1360-1362), 409.
Muḥammad IX de Granada, 435.
Muhandis (ingeniero), 296.
Mukḥula (reloj solar cónico), 172.
Müller, W.W., 297.
al-Mundir (886-888), 40.
Muñoz, R., 28, 42.
Muntner, S., 379, 380, 381.
Munyat al-Mugīra, 78.
al-Muqtadir (1047-1081), rey de Zaragoza, 134.
Murcia, 387, 388, 414.
Murdoch, J., 139.
Muruwwa, A., 218.
Murŷiqāl, 289, 292, 292.
Mūsà b. Maymūn: cf. Maimónides.
Mūsà b. Nuṣayr, 23, 24, 25, 26, 51, 64.
Mūsà (fl. 1480), constructor oriental de un astrolabio esférico, 99.
Musāṭara, tipo de cuadrante solar horizontal, 254.
al-Muṣḥafī, botánico (s. XIV), 429.
al-Mustaᶜīn bi-llāh, Aḥmad II, rey de Zaragoza (1085-1110), 270, 331.
al-Mustanṣir, califa almohade (1213-1224), 399.
al-Mustanṣir ibn Abī Zakariyyā', monarca de Túnez, 392.
Muwaqqits en al-Andalus, 412, 413, 417.
Muŷāhid al-ᶜĀmiri, monarca de Denia, 125, 268, 371.
Muŷarrabāt, cuadernos de experiencias clínicas, 117, 270.
al-Muẓaffar, ᶜUmar b. Nūr al-Dīn, sultán ayyubí de Egipto, 380.
al-Nāᶜūra, 299.
Nabateos, 266.
Naft, fuego griego, 56.
al-Nahrāwī, Abū-l-Qāsim b. ᶜAbbās, 281, 282.
Nallino, C.A., 93.
Naranja, 294, 303.
Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, 139.
Naṣr, sultán de Granada (1309-1314), 394.

Naṣr, valido de ᶜAbd al-Raḥmān II: horóscopo de su muerte, 53.
Navarro, M.A., 68, 72.
Navarro Veguillas, L., 348.
Navas de Tolosa, batalla (1212), 387.
Navegación, 26, 73, 247-249.
Needham, J., 256, 443.
Neoplatonismo, 264, 265.
Neugebauer, O., 30, 33, 38, 86, 88, 89, 90, 134, 154, 158, 169, 219, 222, 225, 228, 323, 329, 331.
Nicolás, monje bizantino y botanista, 93, 113.
Nicómaco de Gerasa, 82, 137.
Nilo, 336.
Nivelación de terrenos, 292.
Niveladores: cf. *livelladors*
Niẓām al-Mulk, 394.
Niẓāmī ᶜArūḍī Samarqandī, 51.
Nocturlabio, 70.
Nolte, F., 175.
Nora, 299.
Norias, 255, 294, 298, 299, 442, 443.
normandos (*māŷūs*), 56.
North, J.D., 18, 30, 105, 158, 224, 246, 417.
Noura, 299.
Noureddine, Abdelkader, 117.
«Nuez de viento», 280.
Números poligonales, 137
Obermann, J., 134, 331.
Oblicuidad de la eclíptica, 73-74, 91, 177, 210, 324, 336.
  Variaciones históricas, 224-226, 232-236
Observaciones astronómicas, 144, 145, 148, 152, 153, 173.
  en Bagdad y Damasco, época de al-Ma'mūn (c. 830), 149, 232; realizadas en Toledo en el s. XI, 148, 221; solares de Azarquiel, 207-212.
Observatorio de Istambul 131, 132.
observatorios astronómicos, inexistencia en al-Andalus, 46.
Obstetricia, 117-118
  extracción del feto muerto, 122.
Ocaña Jiménez, M., 60, 65, 80.
Oceano Atlántico, 336.
Oftalmología, 268, 369-371
  intervención de cataratas, 371
Ojo: centro de la visión, 357.
Oliver Asín, J., 57.
Opio (*afiyūn*), 269, 378.
Oposición, aspecto astrológico, 32.
Orán, 393, 393.
Organo paraláctico, 173.
Orientalización de la cultura andalusí en el s. XI, 127.
Oriente: disminución de relaciones científicas en el s. XI, 127.
Orizón universal: cf. lámina universal.
Oro, 261.
Orosio, Paulo, 37, 38, 112.
Ostanes, 260.

Oueydalla el sabio, 28, 30, 129.
Ovalo, en el ecuatorio de Azarquiel, 204-205, 207
Pablo de Egina, 121, 273, 275.
Paja, utilizada como abono, 301.
Palestina, 365.
Palmera: fecundación artificial, 287.
Pansier, P., 370.
Parásitos, 303.
Pastos, 300.
Paterna, 389.
Pavón, B., 59, 295, 299.
Pedersen, F.S., 147.
Pedersen, J., 394.
Pedersen, O., 328.
Pediatría, 117, 118.
Pedro Alfonso, 86, 87.
Pedro el Ceremonioso, rey de Aragón, 324.
Pellat, Ch., 71, 89, 287.
Peña, C., 267, 362, 374, 379.
Perès, H., 146, 278, 287, 299, 305.
Pérez Lázaro, J., 18.
Perfecto, presbítero cordobés (m. 850), 53.
Perrone Compagni, V., 262, 263, 266.
Persas, 266.
Persia, 28, 294.
Pesos y medidas de capacidad, 274-275.
Petit, R., 392.
Peuerbach, Georg (1423-1461), 205.
Philibert, M., 61.
Picatrix: cf. *Gāyat al-ḥakīm.*
Pineata, figura, 204.
Pineatum, 204.
Pinee, figura, 204.
Pines, S., 346, 347, 357.
Pingree, D., 48, 86, 88, 90, 147, 153, 184, 219, 247, 261, 262, 266, 435.
Pinnonada, figura, 204.
Pisa, 360.
Pitagóricos, escuela filosófica, 341.
Planetario, 54.
Planetas altas (*al-kawākib al-ʿulwiyya*), 32.
Planetas pesadas (*al-darārī al-ṯiqal*), 32.
Planetas, 32, 109, 130, 152, 154, 157, 205-207, 211, 214, 241, 324-325, 327-328, 332-334, 426-427.
  parámetros en el ecuatorio de Azarquiel, 205-206; distancias y tamaños, 77, 241, 334; latitud, 154; orden, 327, 328, 332, 333, 344; Cf. también Astronomía, Mercurio y Venus.
Plano inclinado, 358.
Plantas
  clasificación, 290, 366, 367; sexualidad, 287, 367. Cf. también Botánica, Farmacología.
Plata, 261.
Plátano, 279.
Platón, 341.
  Libro de las Leyes Mayor y Menor, 246; Timeo, 265.

Plessner, M., 146, 262.
Plooij, E.B., 138, 139.
Poch, M.D., 32.
Pólvora (*naft*), 432.
Poulle, E., 105, 132, 200, 319, 390.
Pozos, 294, 295.
Precesión de los equinoccios, 32, 109, 130, 152, 157, 205, 206, 211, 212, 219. Cf. también Trepidación.
Prémare, A.L. de, 311.
Presas de derivación, 294, 297.
Presas romanas, 297.
Price, D.J., 200.
Priego, C., 296.
Proporción matemática, 135.
Proyección de rayos, 252, 321.
Proyección estereográfica ecuatorial, 93–96, 182, 184; meridiana, 182, 194.
Proyección acimutal equidistante, 182.
Proyección cilíndrica: cf. proyección ortográfica.
Proyección globular, 182.
Proyección ortográfica, 184.
Proyección ortográfica meridiana, 193–194.
Proyectiles, movimiento, 358–359
Ptolomeo, Claudio, 76, 177, 211, 212, 213, 225, 232, 236, 237, 238, 260, 315, 317, 318, 331, 334, 337, 343, 384, 410.
Almagesto, 47, 79, 88, 92, 93, 108, 111, 135, 151, 167, 168, 172, 173, 178, 206, 216; Analemma, 194; catálogo de estrellas, 338; críticas a su astronomia matemática, 312; críticas al Almagesto, 326–330; críticas de los «aristotélicos» andalusíes, 330–356; Geografía, 92, 242; Hipótesis planetarias, 77, 206, 317, 334, 339; Inscripción canóbica, 206; modelo de Mercurio, 214; movimientos medios planetarios, 151; Planisferio, 85, 197; *Qānūn*, 80; Tablas Manuales, 80, 88.
Puig, J., 334, 337.
Puig, R., 15, 161, 184, 187, 190, 193, 195, 198, 393, 394, 398, 401, 402, 410, 416, 417, 433, 442, 445.
al-Qāḍī al-Fāḍil, 380.
Qal°at al-Ḥanaš (Alanje, Badajoz), 57.
al-Qalaṣādī, Abū-l-Ḥasan °Alī b. Muḥammad (c. 1412–1486), 393, 404–409, 413, 445.
Riḥla, 398, 404, 405, 413; sumatorios de series, 407; fracciones, 409; raíces de cuadrados imperfectos, 407; simbolismo algebraico, 407–409.
Qalb al-°Aqrab (Antares, *α Scorpii*), 63.
Qalb al-Asad, cf. Calbalazada.
al-Qalnār, Ḥasan b. Muḥammad (fl. 1351), 429.
Qanāt (= canal), 58

Qanāt, 56-60, 293, 294-297, 309.
al-Qarabāqī, Abū-l-Ḥasan ᶜAlī b. Mūsà al-Lajmī (m. 1440), 413.
Qāsim b. Muṭarrif al-Qaṭṭān, 35, 68, 74, 76, 84, 92, 103, 334, 444.
ascensiones oblícuas, 76; calendario lunar, 76; calendario solar juliano, 76; determinación de la hora nocturna, 70; determinación de la latitud del lugar, 76; *Kitāb al-hay'a*, 69; mansiones de la luna, 35, 76; reloj de candela, 69; sombra meridiana en Córdoba, 68; tabla de estrellas, 76.
Qayrawān, 127.
al-Qazwīnī (m. 1283), 249.
Qrīṭūn (¿Critón?), 262.
Qubṭāl (cubital, codal), 289, 292.
Quemazón (*iḥtirāq*), aspecto astrológico, 32.
al-Qurašī, de la escuela de Maslama, 81.
Quṭb al-Dīn al-Šīrāzī (m. 1311), 326, 333.
Rabat, 324, 391.
Rabbí Isḥāq b. Sīd: cf. Isḥāq b. Sīd.
Rabīᶜ b. Zayd, obispo mozárabe, 71, 75, 129.
Rabia, 381.
Rabiçag: cf. Isḥāq b. Sīd.
Ragep, J., 225, 239.
Ramón Llull, 30.
Ramos, A., 311.
Ramsay Wright, R., 32, 167.
Raqqa, 177.
Rasā'il Ijwān al-Ṣafā', 127, 259.
al-Rašīd, califa almohade (1232-1242), 391.
al-Rāzī, historiador (m. c. 955), 27, 38.
al-Rāzī, Muḥammad ibn Zakariyyā' (m. 925), 119, 260, 274, 285, 365, 377, 378, 440.
Razón matemática, 135, 137, 138, 139.
Regadío, técnicas de, 294-299.
Regiomontano (1436-c. 1476), 144, 208, 214, 327, 328.
Regla transversal (*muᶜtariḍa*) en la azafea, 193.
«Reglas», instrumento de observación astronómica 173.
Régulo, cf. Calbalazada.
Reinhold, Erasmus (1511-1543), 205.
Relaciones científicas con Oriente: disminución en el s. XI, 127.
Reloj de candela, cf. *ṭurayyā*.
Reloj (*minkān*), 443, 444.
Relojes con autómatas, 56, 254-257.
Rénaud, H.P.J., 63, 271, 274, 276, 404, 407, 413, 420, 429, 437, 438, 439.
Reyes Católicos, 387, 391, 401.
Reyo (Málaga), 21.

Ribera, J., 25, 26, 27, 29, 46, 49, 50, 57, 127, 389, 395.
Richter-Bernburg, L., 128, 138, 148, 149, 150, 152, 320.
Rico y Sinobas, M., 171, 175, 182, 188, 197, 200, 211, 219.
Riḍwān, *ḥāŷib* de Yūsuf I de Granada, 395, 396, 397.
Riḥla, viaje a Oriente, 52, 310, 363, 393.
Ripoll, abadía de, 37.
  manuscrito 225, 96; clepsidra, 56
al-Riqūṭī, Muḥammad b. Aḥmad al-Mursī, 388, 389, 393, 396, 433, 434.
Risāla fī awqāt al-sana, 68, 72.
Ritter, H., 220, 247, 258, 259, 262, 263, 264, 264, 265, 265.
Roberto de Chester, 86.
Roberto de Ketton, 149.
Roberts, V., 131.
Rodgers, R.H., 41, 285.
Rodríguez Molero, F.X., 377.
Romano, D., 15, 379.
Romano, emperador bizantino (959-963), 112, 114.
Romano Lecapeno, administrador del Imperio Bizantino (919-944), 114.
Romero, C., 392.
Rosal espinoso, 280.
Rosner, F., 379.
Rosselló-Bordoy, G., 295, 289.
Rotación de cultivos, 300.
Rubiera, M.J., 55, 395.
Ruedas hidráulicas utilizadas por Ibn Jalaf al-Murādī, 255, 256.
Ruedas calendáricas, 33.
Rufo de Efeso, 273.
Rūm, 29, 41, 285.
al-Rumaylī (fl. s. XI), 267.
Rumbo, 248.
Ruṣāfa, cf. Ruzafa.
Rusia, 311.
Rutbat al-ḥakīm, 246, 257--261, 265.
  autor, 257-258; contenido, 259-261; fecha de composición, 257-259.
Ruzafa, 20, 21, 22, 43, 54.
Sabeismo: cf. sabeos de Ḥarrān.
Sabeos de Ḥarrān, 264-266.
Sabra, A.I., 241, 250, 335, 338, 339, 340.
Šādūf, 298.
Safarī, cf. granada *safarī*.
ṣafīḥa āfāqiyya, 184.
al-Ṣafīḥa al-muštaraka li-ŷamīᶜ al-ᶜurūḍ: cf. azafea.
Safr b. ᶜUbayd [Allāh (?)] al-Kilā'ī, 21, 22.
Saᶜīd b. ᶜAbd Rabbihi (m. c. 953-977), 40, 111, 116, 117.
  Anatomía, 117; *muŷarrabāt*, 117.
Ṣāᶜid de Toledo (1029-1070), 19, 20, 40, 40, 130, 145, 334
  Ṭabaqāt, 19, 60, 64, 71, 75, 79, 81, 82, 82, 83, 84, 92, 125, 126, 127, 128, 129, 133, 134, 136, 137, 145, 146, 147, 150, 181, 198, 221, 240, 241, 257, 260, 267, 268, 272, 275; obra astronómica, 144, 145, 152, 171, 221, 225,

239; interés por la astronomía ptolemaica y por la tradición del *Sindhind*, 146; participación en las Tablas de Toledo, 148-150.
Sa'īd ibn al-Bagūniš (m. 1052), 272.
Sa'īdān, A.S., 221, 405.
Šakkāz, 197.
Šakkāzīn, barrio de Toledo, 197.
Šakkāziyya: cf. azafea *šakkāziyya*.
Šakl al-qaṭṭā': cf. teorema de Menelao.
Ṣalāḥ al-Dīn, sultán ayyubí de Egipto, 378.
Salé, 324.
Saliba, G., 131, 244, 329.
al-Ṣāliḥ, sultán ayyubí de Egipto, 365.
Salvatierra Cuenca, V., 400.
Šāmila, tipo de cuadrante solar horizontal, 254.
al-Šammāsiyya, observatorio de Bagdad, 210.
Samsó, J., 22, 23, 26, 28, 29, 30, 33, 38, 53, 60, 65, 71, 73, 74, 75, 80, 84, 95, 105, 109, 118, 125, 126, 130, 132, 140, 156, 164, 167, 173, 177, 186, 204, 207, 208, 210, 224, 228, 342, 348, 389, 397, 415, 417, 420, 443.
Samuel ben Nagrella, ministro de Ḥabbūs ibn Mākzan, 125.
Samuel ben Yehudá de Marsella (fl. 1335), 241, 320.
Samuel ha-Leví, colaborador de Alfonso X, 253.
Ṣanawbar (piña) con el significado de cono, 204.
Sánchez Pérez, J.A., 253, 403.
Sancho, M., 296.
Sandía, 294.
Sangría, 122.
Sāniya, 298.
Sanlúcar (la Mayor), 382.
Šant Binŷant (¿S. Vicente?), 60.
Santiago, E. de, 80.
Šanŷūl, 289.
Sāqiya, 298.
al-Šaqūrī, Abū Tammām Gālib (m. 1340), 399, 436, 437.
al-Šaqūrī, Muḥammad b. Ibrāhīm (n. 1327), 429, 434, 435, 436, 439, 445.
Sara la Goda, 284.
al-Saraqusṭī, de la escuela de Maslama, 81.
Sarton, G., 175, 287, 333, 361.
Šawq (deseo) 347, 348 y cf. *tašawwuq*.
Saxl, F., 265.
Sayili, A., 150, 333.
Sayyid, F., 38, 49, 116, 399.
Sbath, P., 288.
Schacht, J., 379.
Schramm, M., 211.
Scott, B., 56.
Seco de Lucena, L., 395.
Seda, introducción en al-Andalus, 52.
Sédillot, J.J., 321.
Sédillot, L.A., 321.

Segura, C., 56.
Šelomó ibn Gabirol (m. 1058), 133.
Series aritméticas, 137.
Serjeant, R.B., 283.
Sésiano, J., 82.
Seth, 252.
Seudo-Aristóteles, 367, 383.
Seudo-Arquímedes, 251.
Seudo-Beda, 35.
Seudo-Enrique de Villena, *Tratado de Astrología*, 74.
Seudo-Ibn Qutayba, 25, 26, 27.
Seudo-Ibn Wāfid, 281, 282, 284, 284, 286, 296, 302, 303, 303.
Seudo-Māša'allāh, tratados sobre el astrolabio, 95-96.
Seudo-Maslama, 245, 257-266
  cronología, 257-259; *Gāyat al-ḥakīm*, 246, 257-259, 261-266; identificación, 257-258; *Rutbat al-ḥakīm*, 246, 257-261.
Seudo-Pitágoras, 273.
seudo-Qusṭūs, 285, 288.
Sevilla, 56, 126, 127, 198, 278, 283, 284, 286, 307, 308, 363, 365, 370, 389, 397, 442, 443, 445.
  centro científico en el período taifa, 126; estudio general, 396; Jardín botánico, 279-280, 283-284; noria, 298.
Sexagenarium, 389-390.
Sexología, 117-118, 440.
Sexualidad de las plantas, 287, 367.
Sezgin, F., 35, 51, 72, 76, 138, 258, 262.
Shukla, K.S., 417.
Sicilia, 284, 300, 364.
Siger de Brabante, 360.
«Siglo de Oro» de la ciencia andalusí, 125.
Simbolismo algebraico, introducción, 407-409.
Simón de Guilleuma, J.M., 370.
Simonet, F.J., 274, 289.
Sindhind: cf. al-Jwārizmī, *Sindhind* y al-Jwārizmī-Maslama, tablas.
Sinia, 298.
al-Šīrāzī, Quṭb al-Dīn (m. 1311), 244.
Siria, 21, 266, 280, 284, 364, 365, 365.
Sisebuto, rey visigodo (612—621), obra astronómica, 27
Skeat, W.W., 147.
Sol, 27, 146, 157, 169, 248, 322, 324-325, 327-328, 332-333, 336, 340, 425-426.
  alturas meridianas en Córdoba, 73; modelo solar de Azarquiel, 207-218; longitud del sol en tratados de cómputo, 33.
Solalinde, G., 261.
Sombra (*ẓill*) como función trigonométrica, 142.
Sombras (cotangentes) para g=1, 143.
Sombras meridianas en Córdoba, 73.
Sonnedecker, G., 54, 119, 120.
Souissi, M., 204, 405, 406.

Souryal, S.S., 271.
Souto, J.A., 24.
Spink, M.S., 121.
Stahlman, W.D., 170.
Stern, S.M., 49, 55.
Su-Sung: reloj astronómico (1088), 256, 443.
al-Sudd: cf. presas de derivación.
Sueños: interpretación, 49.
Suhayl (Canopo, α de Argos), 63-64.
Sulaymān b. Ḥāriṯ al-Qūṭī: cf. Alcoatin (Alcoatí).
Ṣumādiḫiyya, jardín botánico en Almería, 279, 298.
Superstición: defensa del agricultor ante lo inevitable, 303, 304
Surrió, 137.
Suter, H., 86, 94.
Sutura quirúrgica, 121-122
Swarup, G., 417.
Swerdlow, N., 77, 168, 169, 225, 327, 328, 329.
Tabanelli, M., 118
al-Ṭabarī, 375.
Tābiᶜíes, cf. *Tābiᶜūn*.
Tābiᶜūn, 23, 24, 61, 64.
Ṯābit b. Qurra (m. 901), 48, 135, 137, 146, 212, 213, 216, 220, 225, 236, 238, 239, 285.
Maqāla fī-l-ṭilasmāt (*De imaginibus*), 263
Ṯābit b. Sinān b. Ṯābit b. Qurra, 48.
Tabla cuadrática de los signos zodiacales, 35, 36.
Tablas Arkand, 79.
Tablas Alfonsíes, 146, 147, 156, 186, 219, 242.
Tablas de los *aṣḥāb al-mumtaḥan*, 73. Cf. también Tablas Ma'mūníes.
Tablas de Barcelona, 324.
Tablas de al-Battānī, 47, 73, 79, 80, 97, 108, 146, 151, 168, 173, 186, 219.
«Tablas» (*zīŷ*) de Ibn al-Hā'im, 322-326.
Tablas de Ibn al-Kammād, 320-324.
Tablas de Jaén: cf Tabulae Jahen.
Tablas de al-Jwārimī: cf. al-Jwārizmī, *Sindhind* y al-Jwārizmī-Maslama, tablas.
Tablas Ma'mūníes, (c. 830), 73, 92, 144, 149
Tablas Manuales, 151.
Tablas de Ptolomeo, 80.
Tablas de Toledo, 65, 73, 89, 147-152, 171, 205, 206, 207, 210, 213, 224, 225, 239, 321.
ecuaciones, 151; movimientos medios, 151; precesión de los equinoccios, 152; precisión, 152; tablas astrológicas, 152; tablas de eclipses, 151; tablas de paralaje, 152.
Tabula Smaragdina, 48, 49, 265.
Tabulae Jahen, 141, 146, 152-166, 179, 219.
acimut de la alquibla por el «método de los zīŷes» 161, 164-166; apogeos

planetarios, 154; astrología matemática, 157; cálculo de ecuaciones por métodos ptolemaicos, 155, 157; determinación de la hora, 156; determinación de la longitud de un planeta, 154; determinación de la meridiana con el «círculo indio», 161-164; determinación del ascendente y el medio cielo, 155; división de las casas, 156; división de las casas, método ecuatorial (límites fijos), 158-159, 161; división de las casas, método standard, 157; fecha radix, 155; modelo lunar, 154; modelos planetarios, 154; trigonometría, 155, 156; visibilidad de la luna nueva, 155;
Taifa, período, 125, 245.
desarrollo económico y revolución agrícola, 304.
Tajo, 278.
Taksīr (agrimensura), 82, 427.
Talbi, M., 392.
Talismanes, 263.
Talismanista (*ṣāḥib al-ṭilasmāt*), 262-263.
Tangente para r=1, 142.
Taqṣīr (*incurtatio*), movimiento en longitud, 340-341, 348-349, 351, 352-355.
Taqwīm, 167.
Ṭāriq b. Ziyād, 23-26.
Tašabbuh (imitación), 347.
Tašawwuq, movimiento en anomalía, 347-348, 352-355
Tāšufīn b. ʿAlī (m. 1145), 307.
Tāzà (Marruecos), 420.
Técnicas hidráulicas, 293-299
Técnicas quirúrgicas
cauterización, 121; sutura, 121-122.
Tecnología, 442-446.
fuego griego (*naft*), 56-57; *qanāts*, 56-60, 293, 294-297, 309; relación con la Magia, 246-247; tecnología mecánica, 55-56, 245, 249-257, 361; tecnología militar, 432-433.
Tekeli, S., 318.
Teodosio: Esféricas, 135.
Teofrasto, 291, 366, 383.
Teón de Alejandría (fl. c. 370), 80, 220, 323, 331, 341.
Teorema de Menelao, 94, 140.
Teoría de los números 134, 135.
Terés, E., 51, 52, 54, 54, 111, 431.
Thorndike, L., 264, 390.
al-Ṭibb al-Qašṭālī («Medicina Castellana»), 390.
Tiempo: medición, 443-444. Cf. también «hora».
Tierra, «elemento» en la teoría agronómica, 291-293.
laboreo, 291-292, 299-300; clasificación, 290, 292.
Tierra Santa, 248.
Ṭignar, 286.
al-Ṭignarī, Abū ʿAbd Allāh Muḥammad ibn Mālik al-Mu-

rrī (ss. XI-XII), 284, 288, 290, 383, 428.
Tipolitania, 364.
Toledo, 85, 127, 131, 144, 145, 148, 149, 152, 171, 177, 198, 251, 252, 268, 272, 278, 280, 283, 284, 308, 370, 389, 391.
Bāb al-Dabbāgīn, 249; barrio de los *šakkāzīn*, 197; Toledo, casa cerrada, 23; centro científico en el período taifa, 126; clepsidras, 278; conquista por Alfonso VI (1085), 307; cúpula o quiosco de agua, 278, 299; jardín botánico, 278-279, 281; *maŷlis al-nāᶜūra* (salón de la noria), 278, 298-299.
Tomás de Aquino, 360.
Toomer, G.J., 88, 93, 147, 151, 169, 208, 209, 210, 211, 214, 318, 321.
Torquetum, 317, 319-320.
Torre, E., 378
Torres, J.M., 295
Torres, M.P., 365.
Torres Balbás, L., 61, 66, 98, 299, 400.
Tortosa, 308.
Toxicología, 380.
Tradición latino-mozárabe, 22-43, 129, 285, 288-289.
Traumatología, 122, 438-439.
Tremecén, 393, 393, 405, 406.
madrasa yaᶜqūbiyya, 404.
Trepidación de los equinoccios, 146, 149, 150, 151, 157, 171, 206, 219-240, 322, 323, 324, 352.
Triángulo polar, 142.
Trígono, aspecto, 32
Trigonometría esférica, 132, 138, 139-144, 324-325, 326-327.
Teorema de Menelao, 94, 140; Teorema del seno, 141, 327; Regla de las cuatro cantidades, 141, 327; «revolución trigonométrica», 128, 140, 166; Teorema de Geber, 141, 327; Teorema de las tangentes, 141; Teorema del coseno, 141, 327; triángulo polar, 142.
Triplicidades, 32, 81.
Trípoli, 393.
madrasa de Ibn Ṯābit, 405.
Triquetrum (*al-ᶜiḍāda al-ṭawīla*), 173, 318, 320.
Túnez, 364, 392, 393, 414, 423. Cf. también Ifrīqiya.
coordenadas, 422, 423; *madrasa Muntaṣiriyya*, 405; *madrasa ŷadīda*, 405
Ṯurayyā, reloj de candela, 69.
al-Ṭūsī, Šaraf al-Dīn (m. 1213), 416.
al-ᶜUḏrī (m. 1085), 248, 279, 297, 298.
Ukashah, W., 69, 88.
ᶜUlūm al-awā'il, cf. Ciencias de los Antiguos.
ᶜUmar al-Jayyāmī, 139.
ᶜUmar al-Malaqī (fl. 1440), 435.

ᶜUmar b. Farrujān al-Ṭabarī, 48, 90.
ᶜUmar b. Yūnus al-Ḥarrānī, 48.
al-Umawī al-Andalusī (fl. s. XIV), 407.
al-Umawī al-Qurṭubī, Abū ᶜAlī al-Ḥasan b. Jalaf (m. 1206), 62, 68, 70, 72, 172.
ᶜUmdat al-ṭabīb: cf. Botánico Anónimo.
al-ᶜUrḍī, Mu'ayyad al-Dīn (m. 1266), 244.
Urvoy, D., 313.
Vacío: movimiento en el, 359.
Valencia, 127, 133, 136, 144, 293, 389, 391, 397, 434, 438.
  conquista por Jaime I (1238), 391, 400; hospital, 400.
Valle del Ebro, 127.
Vallvé, J., 37, 274, 309, 312, 391.
Varrón, 285, 288, 383.
Vázquez de Benito, M.C., 267, 362, 370, 376, 390, 436, 439, 440, 441.
Venus, 204.
  apogeo en el ecuatorio de Azarquiel, 211; excentricidad en el ecuatorio de Azarquiel, 207; luz propia, 333; órbita en el ms. Reichenau 167, 205; tránsitos por delante del Sol, 327, 328, 333.
Verbasco (*banŷ*), 269.
Vernet, J., 15, 28, 29, 30, 40, 42, 46, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 73, 78, 80, 81, 84, 93, 94, 111, 115, 116, 120, 125, 127, 133, 219, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 256, 257, 260, 268, 270, 273, 308, 311, 321, 329, 365, 382, 390, 399, 400, 400.
Vesalio, 377.
Veterinaria: cf. Hipiatría.
Veterinaria en tratados de Agronomía, 303.
Vettius Valens, 33.
Viajes de agua (*qanāts*), 56-60, 293, 294-297, 309.
Vicent, A.M., 65.
Vidrio, 54.
Vientos, direcciones de los, 62.
Viguera, M.J., 309, 391, 430, 432.
Viladrich, M., 15, 65, 68, 92, 95, 96, 97, 126, 293.
Villuendas, M.V., 15, 138, 250, 254.
Vindanio Anatolio de Berito, 41, 285, 288, 302.
Viré, F., 431.
Virgilio, 383.
Virgo, signo «señor» de Córdoba, 80
Visibilidad de la luna nueva, 24, 26, 70, 91, 155, 331.
Visión: centro en el ojo, 357
Wādī Aḏana, 297.
Walad al-Zarqiyāl, 148 y cf. Azarquiel.
Waqf, 395, 396, 400.
al-Waqqāšī (m. 1095), 145
al-Wāsiṭī (m. 1045-46?), de la escuela de Maslama 81, 84.
Waṭṭāsíes (Marruecos), 391.

Wegener, A., 105, 204.
Welther, B., 152
White, L., 54.
Wiliam de Ware, 360.
Woepcke, F., 406, 407, 408, 417.
Ŷaᶜfar al-Mutawakkil, califa ᶜabbāsī (847-861), 111
Yaᶜqūb al-Manṣūr, califa almohade (1184-1199), 372, 394, 399.
Yaᶜqūb b. Ayyūb (fl. c. 1350), 407.
Ŷabbār, A.: cf. Djebbar, A.
Ŷābir b. Aflaḥ, Abū Muḥammad (s. XII), 144, 312, 324, 332, 333, 351, 384.
crítica al Almagesto, 326-330; instrumento de observación 317-320; Trigonometría esférica, 327-328, 332.
Ŷābir ibn Ḥayyān (m.c. 815), 127, 260, 266.
Yaḥyà al-Gazāl (773-864), 52, 53, 55, 56, 110, 278.
Yaḥyà b. Abī Manṣūr, 177, 207.
Yaḥyà b. Ḥabīb: reloj, 55-56
Yaḥyà b. Isḥāq, 40, 49.
Yaḥyà b. Māsawayh, 118.
Yaḥyà b. Yaḥyà, alfaquí (m. 849), 79
Yalaoui, M., 56.
Ŷamāl al-Dīn al-Māridīnī (m. 1406), 131, 132.
Ŷāmiᶜ qawānīn ᶜilm al-hay'a, 139
Ŷarrār, Ş., 41, 282, 284.
Yates, F., 261.
Yatromatemática, 118, 321.
Ŷawād, 40.
Ŷayyān: cf. Jaén.
al-Ŷazarī (1206): tratado de mecánica, 251, 255, 257.
Yazīd, embajador de ᶜAbd al-Raḥmān I, 21.
Yehudá ben Mošé, astrónomo de Alfonso X, (fl. 1225-1276), 28
Yemen, 128, 131, 283, 297.
Ŷidda, 393.
al-Ŷildakī, ᶜAlī b. Aydamur (fl. 1339-1342), 258, 361.
Yosef b. Yiṣḥāq b. Mošé b. Waqār (fl.1358), 391.
Yosef ben Yehudá ben Šamᶜūn, 326.
Youschkevitch, A.P., 408.
Yucef Aven Texet/ Cexefre, 370.
Yūnus al-Bargawātī, seudo--profeta y astrólogo magribí del s. IX, 52.
Yūnyūs, 41, 285, 383.
Yusquiama, 269.
Yūsuf al-Mu'taman, rey de Zaragoza: cf. al-Mu'taman, Yūsuf.
Yūsuf b. Ḥasdāy, Abū Ŷaᶜfar, 331, 337, 357.
Yūsuf b. Tašufīn, 286, 308.
Yūsuf I de Granada, 395, 396.
Yūsuf ibn Muḥammad, príncipe nazarí, 394.
al-Ẓāfir bi-Ḥawl Allāh, 198 y cf. al-Muᶜtamid.

al-Zahrāwī, de la escuela de Maslama, 81, 82.
Zaragoza, 127, 133, 133, 136, 144, 145, 270, 274, 331, 389.
centro científico en el período taifa, 126; latitud, 91; mezquita aljama, 24, 27, 61
al-Zarqāla, 148 y cf. Azarquiel.
al-Zarqālī, 148 y cf. Azarquiel.
Zarqāliyya: cf. azafea *zarqāliyya*.
al-Zarqālluh, 148 y cf. Azarquiel.
al-Zarqiyāl, 148 y cf. Azarquiel.
al-Zaydūrī, Abū-l-Ḥaŷŷāŷ Yūsuf b. Ismāʿīl, maestro de Qalaṣādī, 406.
Zindīq, 78.
Zīríes, dinastía reinante en Granada en el período taifa, 126.
Zīŷ: cf. tablas astronómicas.
Zoología, 110, 116.
Zootecnia en tratados de Agronomía, 303.
Zósimo, 260.
Zozaya, J., 122.
al-Zuhrī, 249, 250.

INDICE DE PARAMETROS Y VALORES NUMERICOS

0;0,0,2,2,14°: 212
0;0,0,2,7,10,44,25,2,10,22°: 212
0;0,0,54,56,59,24,2,50,40,14°: 232
0;0,0,54,57,7,46,17,10,41,5°: 232
0;0,0,54,57,17,38,4,11°: 232
0;0,1,3,41°: 216
0;0,1,3,41,21,50,8,52°: 214
0;0,12,43,54,13°: 212
0;0,12,56,3,56°: 212
0;10°: 232, 235
0;19P: 216
0;19,17P: 216
0;19,30P: 216
0;59,8,11,28,25°: 213
0;59,8,11,28,26,24°: 213
0;59,8,11,28,26,27°: 426
0;59,8,11,28,27°: 213
1: 73, 142
1;1,48P: 207
1;2P: 325, 426
1;2,30P: 207
1;3P: 207
1;3,5P: 207
1;3,26P: 206, 207
1;3,27P: 325
1;3,30P: 207
1;15P: 206, 325
1;47,51°: 426
1;49,7°: 426
1;50,30P: 216
1;50,56P: 216
1;50,59P: 216
1;51P: 216
1;52,30°: 207, 213
1;52,42°: 213
1;52,44°: 213
1;52,50°: 213
1;53°: 213
1;57,18P: 216
1;57,20P: 216
1;58P: 213, 216
2;2,6P: 216

2;3,26P: 216
2;4,5P: 216
2;5,16P: 216
2;12°: 108
2;14°: 157
2;23°: 214
2;29,30P: 216
2;29,31P: 216
2;29,33P: 216
2;30P: 206, 216
2;45P: 206
2;46,4P: 206
2;47°: 237
2;48°: 237
2;48,48P: 206
2;51,23P: 206
2;51,26P: 206
3;0P: 206, 325
3;6P: 325, 426
3;25P: 206
3;51,26P: 325
3;54P: 228, 323
3;58,19°: 323
4;0P: 323
4;7,57P: 424
4;7,58P: 232, 235, 236, 323, 424
4;18,43P: 224
4;19,26P: 424
4;22P: 230
4;56°: 157
5;9P: 426
5;10P: 325, 426
5;15P: 325
5;57P: 325, 426
6,0P: 196, 206, 325
6;20P: 196
6P 2/3: 68
-6;50,40°: 237
7;0P: 68
7;13°: 205
7;18°: 205
-9;38,40°: 237
9;53,10P: 230
9;59°: 323
10;19,14P: 206
10;23,29°: 236
10;24°: 236, 323, 425
10;26,10P: 230
10;45°: 224, 238, 425
10;46,43°: 425
10;48P: 230
11;26,11P: 206
11;30P: 206
11;32P: 230
12;0P: 68, 73, 89, 142, 156
12;30P: 196
13;0P: 196
14;19°: 237
16;56°: 237
-17;0°: 242
-18;0°: 242
-19;0°: 242
22;15P: 206
22;30P: 206
23;32,12°: 181
23;32,30°: 232
23;32,31°: 210
23;32,40°: 422, 425
23;33°: 177, 224, 232, 235, 236, 323
23;35°: 91, 177
23;42,30°: 235
23;43°: 232, 323
23;50°: 73
23;51°: 177, 224
23;51,20°: 73
23;53°: 232
24;0°: 74, 224

29^{d} 12;44^{h}: 422
29^{d} 12;44,3,20^{h}: 134
29;31,50,5^{d}: 422
29;31,50,5,43,22^{d}: 90
38;53,53^{p}: 206
39;30^{p}: 206
42;2,57^{p}: 206
43;10^{p}: 206
50 millas: 244
60^{p}: 89, 142, 156, 196, 216
65;30^{o}: 211
76;44,17^{o}: 426
77;13,35^{o}: 181
77;31,21^{o}: 210
77;55^{o}: 154
82;39^{o}: 211
82;45^{o}: 211
83;40,31^{o}: 214
83;40,53^{o}: 214
85;49^{o}: 198, 211
85;50^{o}: 211
86;0^{o}: 198, 211
93;2,15^{o}: 154
150^{p}: 89
278.33^{a}: 212
279^{a}: 212
279.1^{a}: 212
290^{a}: 212
354^{d} 8;48^{h}: 134, 422
354^{d} 8;48,40^{h}: 134
354;22,1^{d}: 422
365;15,23,37,33^{d}: 213
365;15,30,22,15^{d}: 154
365;15,36,0,30^{d}: 213
365;15,36,19,34,12^{d}: 213
365;15,36,19,35,32^{d}: 213
1850^{a}: 232, 235, 325, 425
2032^{a} 29^{d}: 325, 425
2698^{a}: 235
2698^{a} 1^{m} 16^{d}: 425
3218^{a}: 230
3342^{a} 8^{m} 16^{d}: 426
3792^{a}: 228
3874^{a}: 232
3874^{a} 1;14^{d}: 424
3874.19^{a}: 232
3874.36^{a}: 232
4292^{a}: 228
4692^{a}: 228
5150^{a}: 230

Este libro se terminó de imprimir
en los talleres de Mateu Cromo Artes Gráficas, S. A.
en el mes de julio de 1992.